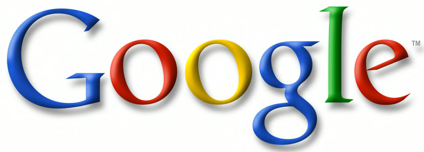
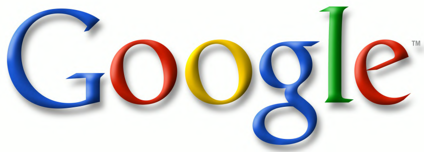
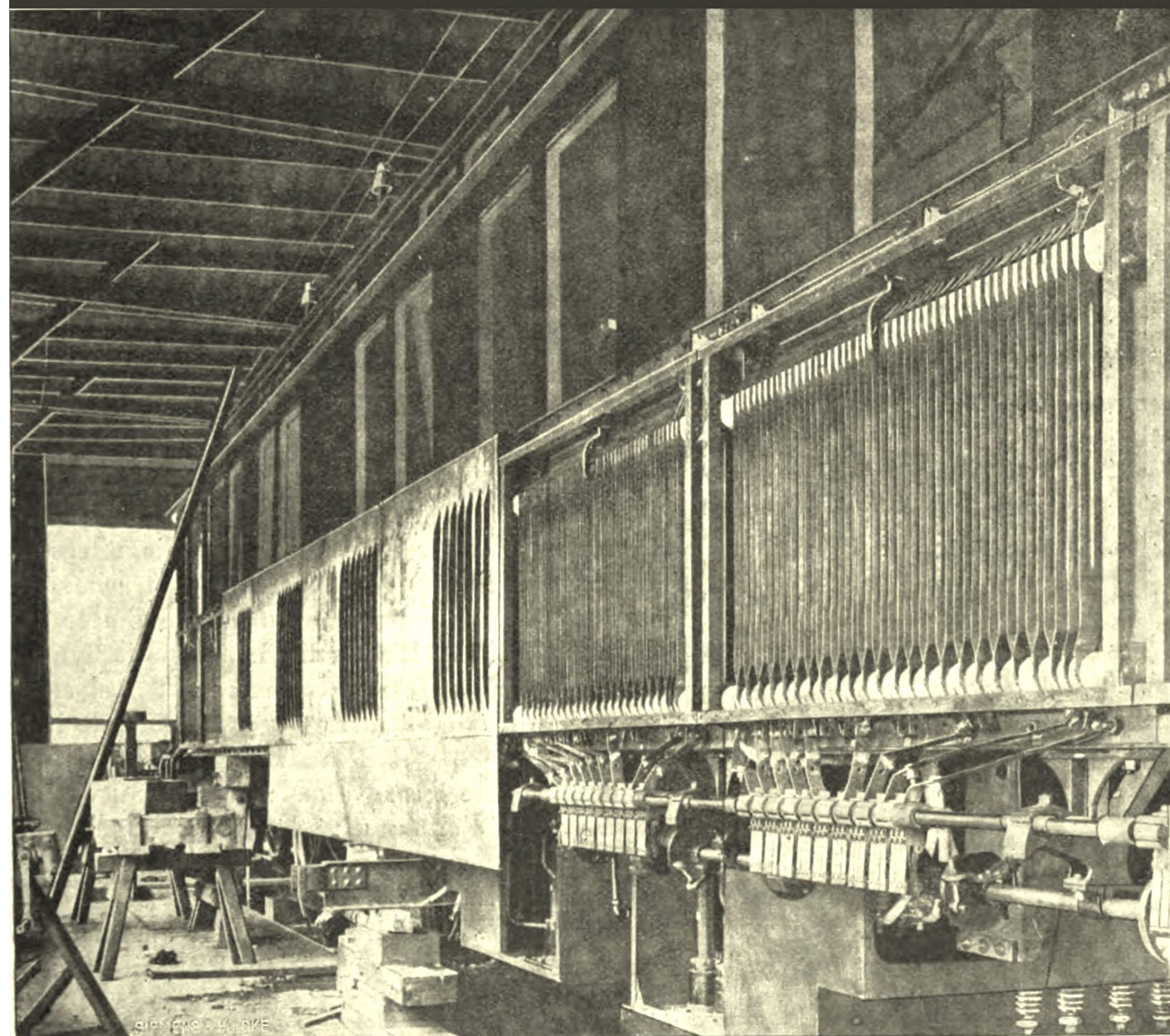
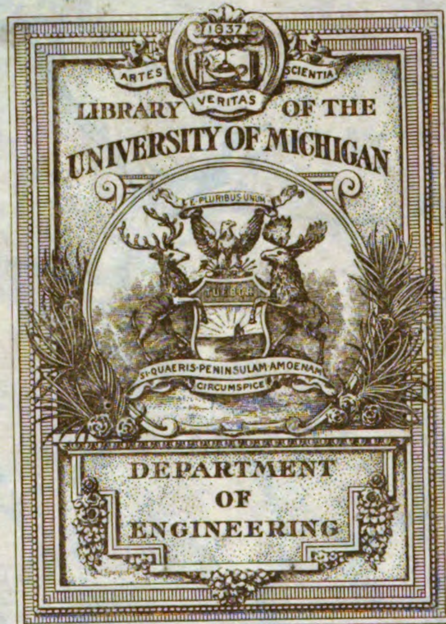
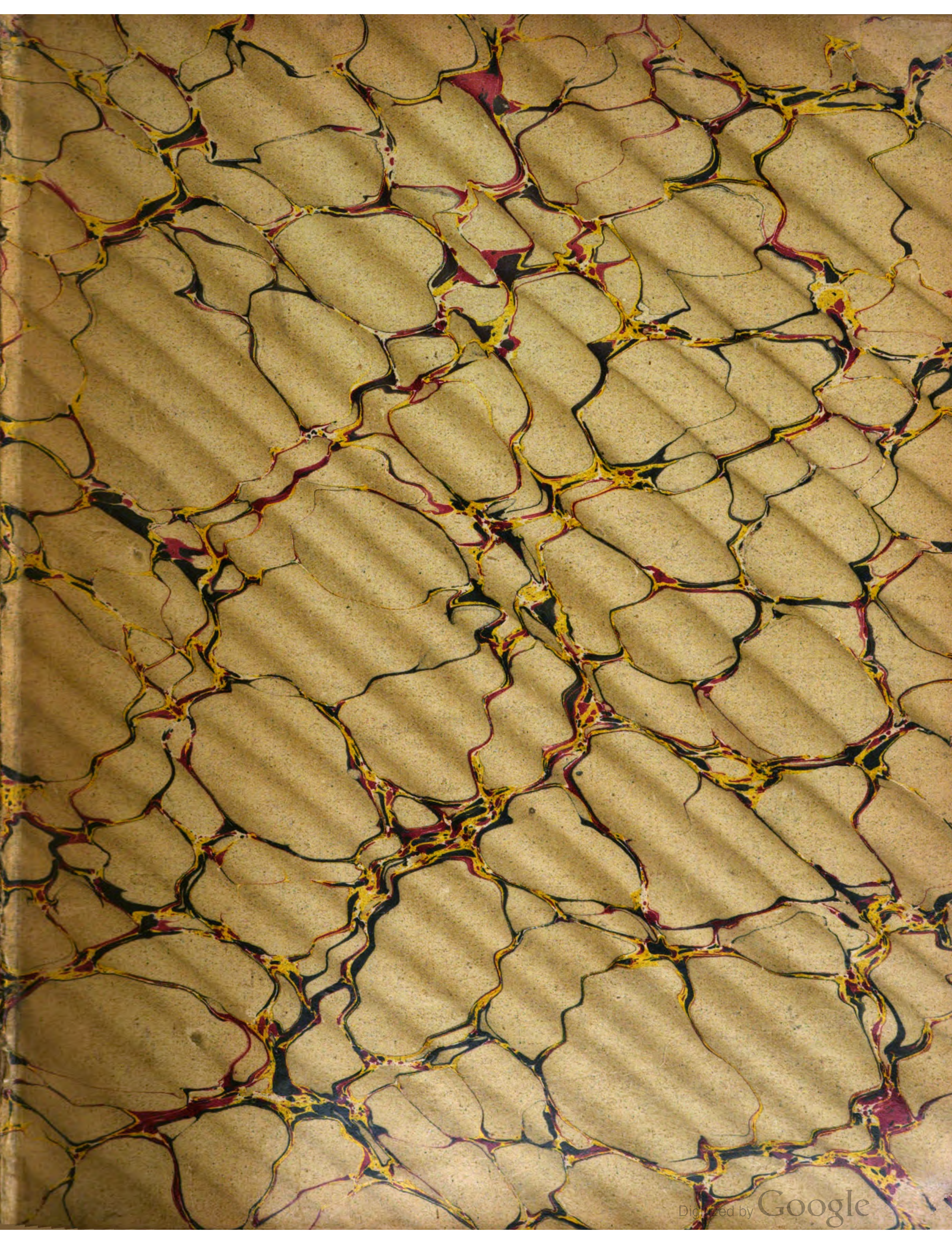






# La Lumière électrique


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

# L'ÉNERGIE

# L'Éclairage Électrique

**REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS**

## Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

# L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

**A. D'ARSONVAL**
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

**A. CORNU**
PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

**G. LIPPMANN**
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

**D. MONNIER**
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES.

**H. POINCARÉ**
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

**A. POTIER**
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

**A. WITZ**
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES.
PROFESSEUR A LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE.

**J. BLONDIN**
AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR AU COLLÈGE ROLLIN.

TOME XXXI

2e TRIMESTRE 1902

PARIS

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome XXXI. Samedi 5 Avril 1902. 9e Année. — N° 14.

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## MESURE DES RÉSISTANCES D'ISOLEMENT DES FILS DE TROLET

La mesure de la résistance d'isolement d'un fil de trôlet s'effectue le plus souvent par la méthode, dite du voltmètre. Il peut, dans certains cas, se présenter des particularités qui nous ont amené à envisager le problème ci-dessous; nous en indiquons l'énoncé, sans parler de l'application qui y a donné lieu; à la fin de cette note, nous reviendrons aux difficultés rencontrées dans la pratique.

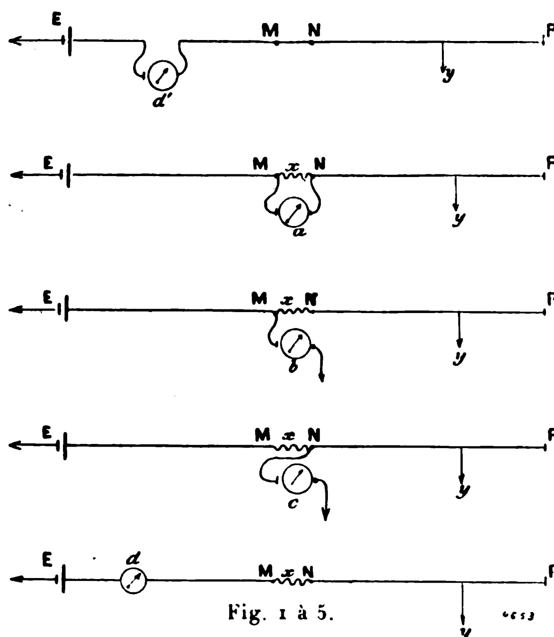


Fig. 1 à 5.

Considérons un circuit, composé d'une source de force électromotrice E et de résistance négligeable, et de deux résistances $x$ et $y$ en série à la suite l'une de l'autre (fig. 5). On dispose d'un voltmètre de résistance connue $r$. En intercalant le voltmètre dans le circuit, on a une déviation $d$ (fig. 5); en le mettant aux bornes de la source, on a une déviation $b$ (fig. 3); en le mettant en dérivation aux bornes de la résistance $x$, on a une déviation $a$ (fig. 2); en le mettant, de même, aux bornes de la résistance $y$, on a une déviation $c$ (fig. 4). Telles sont les quatre expériences que l'on peut faire. Les équations

correspondantes sont les suivantes :

$$E = kd(x + y + r), \qquad E = kbr,$$

$$ka = \frac{E\,\frac{x}{x+y}}{r + \frac{xy}{x+y}}, \qquad kc = \frac{E\,\frac{y}{x+y}}{r + \frac{xy}{x+y}}.$$

$k$ est un certain coefficient de proportionnalité. Si $a\,b\,c\,d$ sont des lectures en volts, on aura $k = \frac{1}{r}$.

Les deux dernières équations sont mises sous la forme qui résulte de l'application immédiate du théorème de Thévenin. Les inconnues sont $\frac{E}{k}$, $x$, $y$. Il y a une équation surabondante; il y a donc, entre $a\,b\,c\,d$, une équation de condition. Or, si l'on fait abstraction de la première équation, on a immédiatement :

$$x = r.\frac{b-a-c}{c}, \qquad y = r.\frac{b-a-c}{a}$$

et, en reportant dans la première équation, il vient, en ordonnant par rapport à $a$ :

$$a^2d + (bc + cd - db)\,a - (b - c)\,cd = 0.$$

Telle est l'équation de condition. Si l'on fait abstraction de la troisième équation, les trois équations restantes suffiront à déterminer $x$ et $y$, après élimination de $\frac{E}{k}$. On aura ainsi $x$ et $y$ en fonction de $b$, $c$, $d$. Il est facile d'obtenir ces expressions en remplaçant $a$, dans les valeurs précédentes de $x$ et de $y$, par la valeur tirée de l'équation de condition. Celle-ci, il est vrai, a deux racines, mais il n'y a aucune ambiguïté, car $b$ étant plus grand que $c$, les deux racines sont des signes contraires et il faut prendre la positive. On a ainsi :

$$a = \frac{-(bc + cd - bd) + \sqrt{\Delta}}{2d}$$

avec

$$\Delta = c^2b^2 + b^2d^2 - 3c^2d^2 + 2bcd\,(c + d - b).$$

d'où :

$$x = r\left(\frac{b}{c} - 1 - \frac{-(bc + cd - db) + \sqrt{\Delta}}{2cd}\right) = r.\frac{bc + bd - cd - \sqrt{\Delta}}{2cd},$$

$$y = r\left(-1 + \frac{b-c}{a}\right) = r\left(-1 - \frac{-(bc + cd - db) - \sqrt{\Delta}}{2cd}\right) = r.\frac{bc - cd - db + \sqrt{\Delta}}{2cd}.$$

Enfin, si l'on fait abstraction de l'équation (2), on aura $x$ et $y$ en fonction de $a\,c\,d$, savoir

$$x = ra.\frac{a + c - d}{ad + cd - ac}, \qquad y = rc.\frac{a + c - d}{ad + cd - ac}.$$

Il suffit, pour obtenir ces valeurs, de reporter dans les premières expressions de $x$ et de $y$, la valeur de $b$ tirée de l'équation de condition.

Enfin, le cas peut se présenter que $x$ soit connu et que les seules données de l'expérience soient $d$ et $c$. Ainsi, on intercale le voltmètre dans le circuit, lecture $d$; puis on le met en dérivation aux bornes de $y$, lecture $c$. Quelle est l'expression de $y$, $x$ étant connu?

Les deux équations à considérer sont :

$$E = kd\,(x + y + r) \qquad kc = E.\frac{\frac{y}{x+y}}{r + \frac{xy}{x+y}}$$

D'où l'on tire :

$$dy^2 - (c-d)\,(r+x)\,y - crx = 0 \qquad y = \frac{(c-d)\,(r+x) + \sqrt{(c-d)^2\,(r+x)^2 + 4cdrx}}{2d}$$

Un cas particulier intéressant est celui où $x$ est très petit, on a alors approximativement:

$$y = r\,\frac{c-d}{d},$$

et il s'agit d'avoir le terme de correction en $x$, les termes en $x^2$, etc., étant supposés négligeables.

On a $y = f(x) = f(o) + xf'(o) +$ etc., d'après la formule de Mac Laurin. En se servant de l'équation du second degré pour calculer $y'$, et faisant dans cette dérivée $x = o$ et $y = r\frac{c-d}{d}$, on obtient :

$$y = r.\,\frac{c-d}{d} + x.\,\frac{c^2 - cd + d^2}{(c-d)\,d}, \qquad y = r\,\frac{c-d}{d}\left[1 + \frac{x}{r}\left(1 + \frac{cd}{(c-d)^2}\right)\right].$$

Tels sont les divers problèmes qu'il semble que l'on puisse se poser de la façon la plus générale. Dans le cas particulier des lignes de tramways, $y$ représentera la résistance d'isolement que l'on se propose de mesurer; mais $x$ aura diverses significations; dans le dernier problème, ce sera, par exemple, la résistance du fil de trôlet ou autre, par où vient, de l'usine jusqu'au lieu d'expérience, le courant nécessaire à la mesure de l'isolation de la section $y$. Dans d'autres cas, ce courant arrivant à un isolateur de section, on intercalera le voltmètre entre les deux sections, mais cet isolateur de section n'est pas absolument isolant. Reportons-nous aux figures : E est la source de courant; M et N sont les bornes de l'isolateur. Quand M et N sont reliés métalliquement, on aurait une déviation $d'$ en intercalant le voltmètre dans le circuit. Si $x$ était infini, on aurait $a = d'$; mais ce n'est pas le cas, s'il y a un défaut d'isolement de M à N; dans ce cas, on n'aura pas $c = o$.

Alors $x$ a une valeur différente de o, comparable à $y$; il faut en tenir compte. C'est alors qu'on pourra employer les formules données plus haut. Ajoutons, pour compléter l'explication des figures, que NP est la section de fil de trôlet en expérience, P son bout isolé, $y$ la résistance composée de ses pertes.

J.-B. Pomey,
Ingénieur des télégraphes.

# CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE A GRANDE VITESSE DE ZOSSEN

Au mois de mars 1901, a été décidée la construction de deux voitures à grande vitesse, destinées à être essayées sur le chemin de fer militaire royal près de Berlin, entre Marienfelde et Zossen (fig. 1).

La maison Van der Zypen et Charlier, de Cologne, s'est chargée de la partie mécanique des deux voitures motrices, et les deux sociétés Siemens et Halske et l'Allgemeine Electricitäts

Gesellschaft chacune de la partie électrique d'une de ces voitures. En outre la maison Siemens et Halske a entrepris l'établissement de la ligne de prise de courant, tandis que l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft (¹) installait une ligne d'alimentation pour amener le courant, fourni par son usine électrique d'Obor-Schöneweide.

Les particularités de l'installation sont les suivantes :

1. On a choisi, comme voie d'essai, le tronçon à simple voie du chemin de fer militaire près de Berlin, d'une longueur d'environ 23 km (fig. 1), depuis le départ de Marienfelde jusqu'à l'arrivée à Zossen. Le plus petit rayon de courbure est de 1 000 m, et la pente maximum 1/184. La voie est normale, et établie sur traverses en bois.

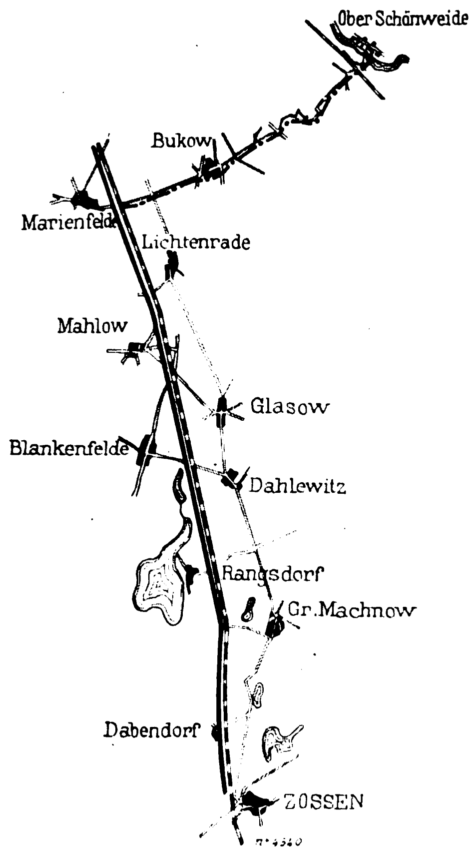



Fig. 1. — Tracé de la voie d'essai.

2. Chaque convoi se compose d'une seule voiture automotrice devant contenir environ 50 personnes et passer dans le plus grand gabarit des chemins de fer de l'Etat prussien.

3. Il faut prévoir deux bogies, à voie normale, à trois axes chacun : la charge maximum de chaque axe, compris le poids des voyageurs, ne doit pas dépasser 16 tonnes.

4. L'énergie électrique est fournie à la ligne sous forme de courants triphasés à 10 000 volts, sous une fréquence de 45 à 50 périodes.

5. La conduite et le réglage des moteurs, la mise en place des appareils de prise de courant, et toutes les manœuvres doivent pouvoir se faire de chaque extrémité de la voiture.

6. La vitesse de marche est de 200 à 220 km à l'heure : l'équipement électrique doit permettre d'accomplir, sans échauffement exagéré, un voyage aller et retour à une distance de 250 km.

7. Entre la fin de la période de démarrage et le commencement du freinage, il doit rester un temps suffisant pour permettre une étude sérieuse de la dépense d'énergie en pleine marche : on comptera trois minutes, soit 10 km. La voiture sera munie de deux freins indépendants, l'un mécanique et l'autre électrique.

8. On installera les appareils de mesure et de contrôle nécessaires, et aussi une batterie d'accumulateurs pour l'éclairage.

1° Détermination de la puissance nécessaire. — D'après l'expérience acquise dans les chemins de fer, il est à prévoir que la partie la plus importante de la résistance à vaincre, est celle qui est due à la pression de l'air.

Les formules utilisées jusqu'ici, donnent, pour une vitesse de 200 km : heure, des nombres considérables. Par exemple, la formule de Grove et Clark

$$F = 2,25 + 0,001 v^2,$$

où $v$ est la vitesse en km : heure, et F la résistance totale au mouvement en kg par tonne, donne

(¹) Pour la description de la voiture motrice de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, voir l'*Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 89, 13 janvier 1902. La description des installations de la maison Simens et Halske a été publiée dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, (t. XXI, p. 671, 745, 776 et 841, nos des 22 août, 12 septembre, 19 septembre et 20 octobre 1901), journal auquel nous empruntons la plupart des renseignements que nous donnons ici.

pour une tonne

$$F = 2,25 + 0,001,\ 200^2 = 42,25 \text{ kg}.$$

soit en chevaux pour les 96 tonnes de la voiture :

$$P = \frac{96.\ 42,25.\ 55}{75} = 3000 \text{ chevaux environ.}$$

Cette formule ne s'applique qu'au cas des convois ordinaires des chemins de fer, et pour des vitesses inférieures à 100 km : heure.

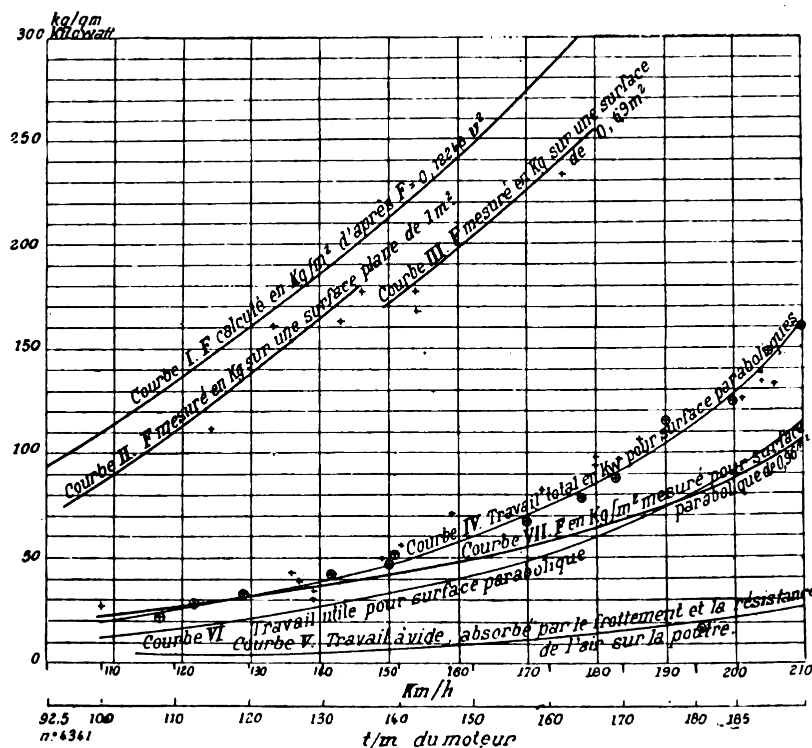


Fig. 2. — Courbes relatives aux essais sur la résistance de l'air.

Il vaut mieux étudier séparément l'action des deux composantes : résistance au roulement et résistance de l'air.

La résistance au roulement est due tant aux frottements de roulement et de glissement qu'aux chocs sur les joints et au travail de flexion des rails.

On compte ordinairement 2,5 kg par tonne : pour plus de sécurité, étant donné la grande vitesse, nous adopterons 4,5 kg par tonne, soit pour la voiture pesant 96 tonnes, environ 450 kg.

La section droite de la voiture présente une surface d'environ 10 m².

Les formules connues « Hüte, 1re partie, section F, pression du vent et résistance de l'air » conduisent encore à des résultats trop élevés (fig. 2, courbe I, calculée d'après l'expression $F = 0,12248\ v^2$ en kg : m².) Ces formules sont exactes, mais à la condition de prendre des constantes appropriées à la forme des surfaces.

Pour étudier la meilleure forme à donner aux surfaces et déterminer approximativement la résistance à vaincre, on a eu recours à l'expérience.

La seule façon possible de réaliser pratiquement des vitesses de 55 m : seconde, ou 200 km : heure, est d'employer des panneaux tournants, montés aux extrémités d'un bras de levier suffisamment résistant, entraîné par un moteur électrique.

***

Avec cette façon de procéder, on risque d'obtenir des résistances un peu trop faibles, à cause des erreurs introduites par les remous de l'air : mais il sera facile de compenser cet écart par l'addition d'un terme supplémentaire, d'après la grandeur de la surface envisagée.

Pour réaliser cet essai, on a installé solidement sur un grillage constitué par des rails réunis par des boulons, un gros moteur, pouvant développer pendant un court intervalle de temps, 200 chevaux; l'axe du moteur était vertical, et le moteur maintenu par des haubans (fig. 3).

L'extrémité supérieure de l'arbre portait une roue ordinaire de wagon, sur laquelle venait se fixer, par l'intermédiaire de fortes tôles, une poutre longue de 6350 mm, sur une largeur de 500 mm et une épaisseur de 85 mm : c'était aux extrémités de cette poutre qu'on disposait les panneaux à étudier.

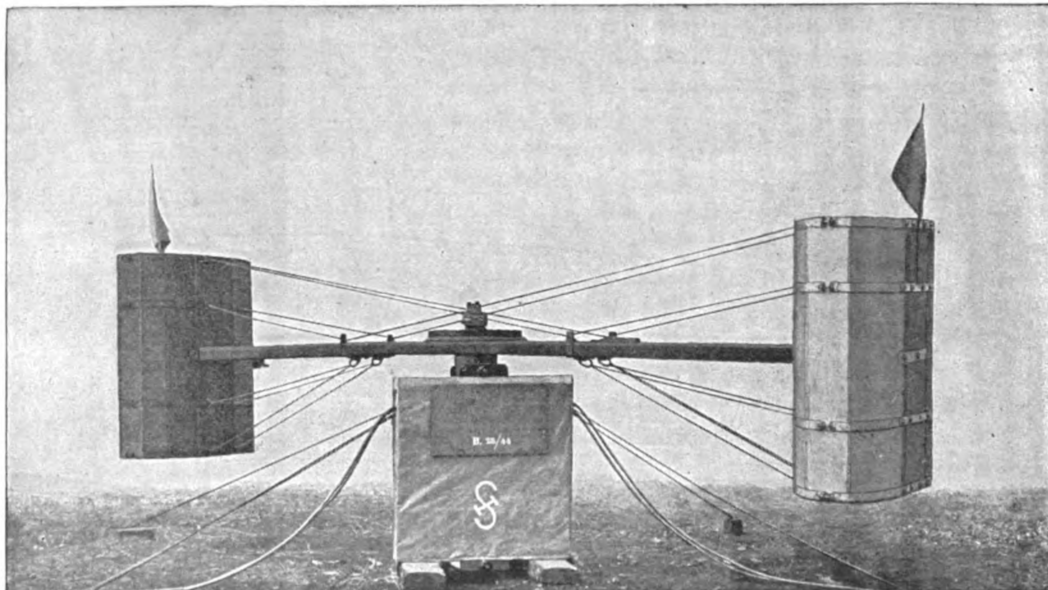


Fig. 3. — Dispositif pour déterminer la forme de surface présentant la plus faible résistance à l'air.

Le moteur était excité indépendamment, et l'induit recevait le courant d'une dynamo dont on pouvait faire varier la vitesse, l'excitation et la tension, ce qui permettait d'obtenir, sans autre artifice, des vitesses très différentes pour le moteur : on démarrait au moyen d'une résistance liquide.

Dans les premiers essais, on a employé des surfaces planes, sans épaisseur et obtenu les courbes II et III (fig. 2) qui montrent que les valeurs de la résistance sont très élevées, et mettent en évidence la nécessité d'arrondir les surfaces de la voiture.

On a alors constitué un solide d'essai de forme sensiblement parabolique dont le plan est donné dans la figure 4 : de plus on a modifié et perfectionné le procédé de mesure, en employant un enregistreur double Morse (fig. 5), qui inscrit à la fois sur un rouleau de papier une première série de traits à des intervalles de temps égaux, et une seconde série de traits à chaque tour de l'arbre, ce qui permet d'obtenir la vitesse en comptant le nombre de tours effectués pendant un temps donné.

Les essais ont conduit à des résultats concordants, : courbe VII, de la figure 2 ; pour une vitesse de 200 km à l'heure la pression de l'air n'est qu'environ le 1/3 de la pression sur une surface plane égale à la section droite du solide.

Pour faciliter l'évaluation à l'œil ou à l'oreille du nombre de tours du moteur, on avait disposé à l'extrémité d'un des panneaux une forte toile, qui au bout d'une demi-heure de marche, se trouva complètement déchirée; les morceaux allèrent se fixer sur la surface inférieure rugueuse du second

panneau, et indiquaient par leur direction le sens du courant d'air, qui semblait rayonner d'une ligne de moyenne pression vers les arêtes de la surface en avant.

De la courbe VII on déduit que la pression de l'air est d'environ 90 kg : m² : il est à prévoir que cette pression puisse être un peu plus élevée quand on remplacera le mouvement circulaire par le mouvement rectiligne, mais d'autre part nous abaisserons le toit du wagon en avant suivant une courbe convenable, ce qui provoquera une diminution de la résistance de l'air et compensera l'augmentation qui pourrait résulter de la première considération.

Nous sommes ainsi conduits finalement à admettre une pression d'air de 900 kg, et une puissance tolale

$$P = (900 + 460)\frac{55}{45} = 950,$$ soit en chiffres ronds, 1 000 chevaux.

2° Disposition générale de la voiture. — Nous avons deux données pour la construction de la voiture : une puissance de 1 000 chevaux et un poids maximum de 96 tonnes. On est conduit à la répartition suivante des poids :

a. *Partie mécanique.*

| | |
|---|---|
| Caisse de la voiture, châssis, menuiserie, vitrerie, sièges, frein à main et ses tiges, frein à air avec conduites et réservoirs, plancher et toiture. . | 20 700 kg. |
| Bogies complets, y compris les roues, tiges de frein, réservoir auxiliaire et cylindre de frein . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 27 300 — |
| Total. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 48 000 kg. |

b. *Partie électrique.*

| | |
|---|---|
| Moteurs sans arbre ni roue, mais suspension comprise . . . . . . . . . | 16 300 kg. |
| Résistances avec démarreurs. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 5 100 — |
| Interrupteurs avec commande à air comprimé, canalisations électriques, coupe-circuit, boîtes de protection, etc. . . . . . . . . . . . . . . . . | 4 750 — |
| Transformateurs principaux avec suspension. . . . . . . . . . . . . . | 12 300 — |
| Pompes à air avec suspension . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 000 — |
| Petits transformateurs pour les pompes. . . . . . . . . . . . . . . . . | 650 — |
| Appareils de prise de courant avec accessoires. . . . . . . . . . . . . | 1 300 — |
| Éclairage compris la batterie. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 500 — |
| Divers et imprévus . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 600 — |
| Total . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 42 500 kg. |

c. *Personnes.*

| | |
|---|---|
| 50 personnes, comprenant 48 voyageurs, 1 conducteur et 1 mécanicien, à chacune 80 kg. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 4 000 kg. |
| Soit au total général. . . . . . . . . . . . . . | 94 500 kg. |

Dans la répartition des poids, on aura évidemment soin de reporter la charge le plus près possible des bogies, de façon à charger faiblement les longerons de la caisse (fig. 6 et 7).

3° Conditions a remplir pour la partie mécanique. — La caisse de la voiture doit contenir 50 places, qui sont réparties sous forme de banquettes transversales, dans un compartiment de milieu (salon) et deux compartiments adjacents, comprenant pour le milieu, 18 places, sur une longueur de 7 350 mm, et pour les deux autres compartiments, longs chacun de 4 m, 24 places en tout. Les 6 places restantes sont réparties en deux petits compartiments longs de 1 750 mm, situés à l'avant et à l'arrière et servant en même temps à l'entrée des voyageurs ; enfin aux deux extrémités de la voiture, se trouve une cabine pour le mécanicien, d'une longueur de 1 600 mm.

La caisse de la voiture a ainsi au total, une longueur de 22 m.

Les figures 8, 9 et 10 représentent un des bogies de la voiture, en coupe longitudinale, plan et coupe transversale par l'axe du bogie : la figure 11, la section transversale de la caisse.

La voiture ressemble à un wagon ordinaire pour trains D des chemins de fer de l'Etat Prussien, dont on aurait amené le toit en pente vers l'avant, suivant une forme parabolique.

L'aménagement intérieur est celui d'un wagon de troisième classe ; les sièges sont en bois sur châssis en fer.

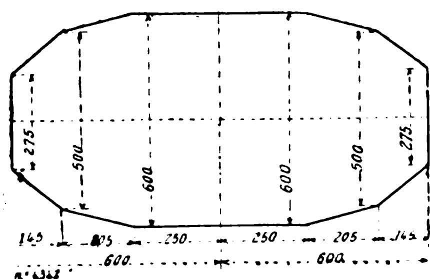



Fig. 4. — Coupe longitudinale d'un solide d'essai de forme parabolique.

La suspension du bogie est double ; le châssis principal en fer profilé de ce bogie s'appuie sur des ressorts à boudin reliés par des boulons à de robustes ressorts à feuilles, reposant sur les boîtes à graisse des essieux. Deux seulement des trois essieux sont moteurs, l'espace laissé libre sur l'essieu du milieu est occupé par le pivot du bogie et les appareils de freinage. Il y a deux freins : un frein automatique Westinghouse, agissant des deux côtés sur chaque roue et pouvant freiner un véhicule d'un poids égal à 160 p. 100 du poids de la voiture en question, chaque bogie portant deux cylindres de frein de 10 pouces ; un frein à main relié à la tige du frein Westinghouse et permettant, de chaque cabine, d'agir sur le bogie voisin et de freiner ainsi 80 p. 100 du poids total de la voiture.

Le diamètre des bandages des roues est de 1 250 mm.

4° Conditions a remplir dans la répartition de l'équipement électrique. — En premier lieu, il faut assurer la sécurité des voyageurs et du personnel de service, contre les dangers de la haute tension : dans ce but, les conducteurs et les appareils sont placés sous le plancher ou

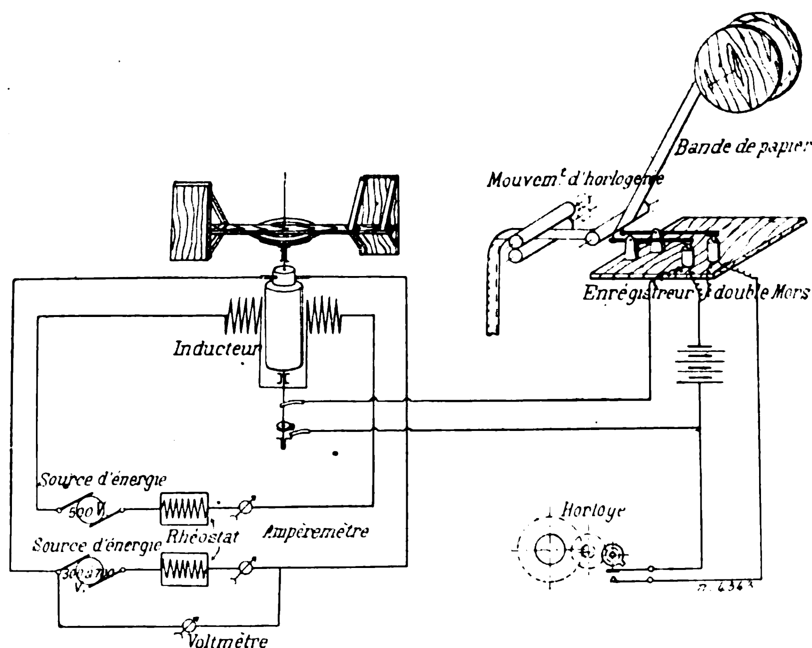



Fig. 5. — Enregistreur double Morse donnant le nombre de tours effectués par l'arbre entraînant les panneaux d'essais.

sur le toit, ces deux surfaces étant protégées par des feuilles de métal reliées à la terre ; de plus, les appareils ne sont pas commandés directement par le mécanicien, mais seulement par l'intermédiaire de l'air comprimé, ce qui diminue à la fois le danger et la fatigue corporelle du mécanicien.

En outre, il est préférable que la charge résultant de l'équipement électrique, au lieu d'être concentrée en un point, soit répartie en deux groupes voisins des bogies : on a ainsi été amené à

répartir cet équipement en deux unités distinctes, indépendantes électriquement, ce qui permettrait en cas d'avarie à une unité, d'utiliser l'autre pour le retour au dépôt. Dans chaque unité, on a pris soin de rapprocher le plus près des bogies, les parties les plus lourdes, telles que les transformateurs principaux.

Chaque unité contient :

*a.* 2 moteurs, 2 résistances de réglage avec les 2 démarreurs, 2 interrupteurs, 2 coupe-circuits ;

*b.* 1 transformateur principal, avec coupe-circuits primaires et commutateur secondaire de mise en étoile ou en triangle ;

*c.* 1 pompe à air avec son transformateur, coupe-circuit, et réservoir d'air ;

*d.* 1 prise de courant ;

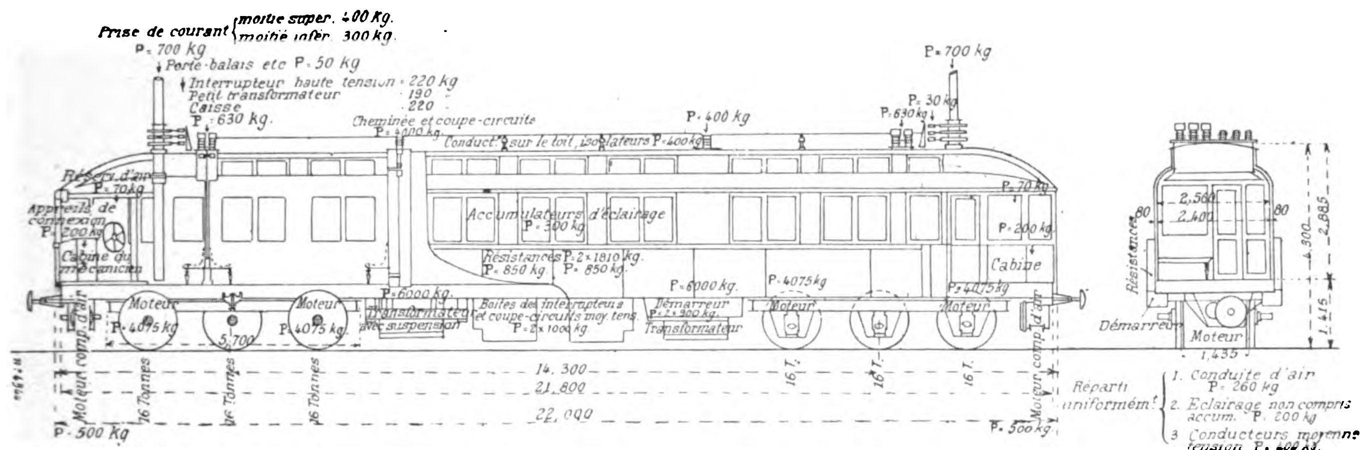



Fig. 6 et 7. — Répartition des poids sur la voiture.

*e.* 1 cabine de mécanicien avec appareils de commande à air comprimé et instruments de mesure.

Voir les figures 3 et 12.

Avec le grand diamètre de roues de 1 250 mm, le nombre de tours est encore très considérable et nécessite l'accouplement direct : il y a 4 moteurs, d'une puissance totale de 1 000 chevaux. Au démarrage pour atteindre la vitesse normale en un temps assez court, les moteurs doivent développer 3 000 chevaux.

La tension secondaire doit être telle que les courants ne soient pas trop intenses et ne nécessitent pas des surfaces de contact trop vastes. On a adopté 1 150 volts pour la marche normale (triangle), et 1 850 volts pour le démarrage (étoile). Le réglage du moteur au démarrage se fait par l'intercalation de résistances, qu'on diminue ensuite graduellement jusqu'au court-circuit. La force électromotrice développée dans le rotor calé, est d'environ 650 volts. Ces résistances sont métalliques, et réparties, pour favoriser le refroidissement, le long des parois de la voiture, entre les deux portes, dans des caisses plates ajourées en forme de persiennes ; les démarreurs servant à régler ces résistances, sont placés tout près suivant la même répartition ; les arbres en sont commandés mécaniquement par une espèce de servo-moteur à air comprimé.

Chaque moteur est muni d'un interrupteur, ce qui permet de l'isoler en cas d'avarie. Cet interrupteur est renfermé dans une boîte avec les coupe-circuits correspondants.

Les transformateurs principaux sont formés de trois noyaux dans le même plan, ce plan étant parallèle au plan de la voie, afin d'obtenir une bonne ventilation par des canaux disposés suivant cette direction. Le primaire est toujours connecté en étoile, avec neutre à la terre et est commandé par un interrupteur haute tension placé tout près de la prise de courant sur le toit. Les conducteurs se rendant aux transformateurs sont en fils nus, posés sur isolateurs en partie horizontale-

ment sur le toit, en partie verticalement dans deux cheminées larges de 500 mm, descendant le long de la cloison de séparation des compartiments : à l'ouverture supérieure de cette cheminée sont placés les coupe-circuits haute tension.

Fig. 8, 9 et 10. — Coupe longitudinale, plan et coupe transversale par l'axe du bogie.

Les trois fils de ligne, étant disposés verticalement l'un au-dessus de l'autre, les prises de courant sont constituées par des archets mobiles autour d'un axe vertical qui doit sensiblement coïncider avec la verticale du pivot du bogie, pour que, dans les courbes, les archets ne soient pas déplacés vers le côté, et qui est commandé mécaniquement de la cabine.

Fig. 11. — Section transversale de la caisse.

Des supports d'archet, le courant est amené à des bagues et capté par des frotteurs. La partie supérieure de la colonne de prise de courant, avec les bagues, s'enlève à volonté ; la partie inférieure est solidaire de la voiture, et mobile dans un collier et une crapaudine pour permettre le changement de sens de marche.

Les pompes à air sont placées sous les cabines et alimentées par un transformateur 10000-110 volts.

Dans la cabine du mécanicien, sur la paroi avant, se trouve un coffre surmonté d'une table plane, sur laquelle sont disposés les robinets mettant en communication les cylindres à air des

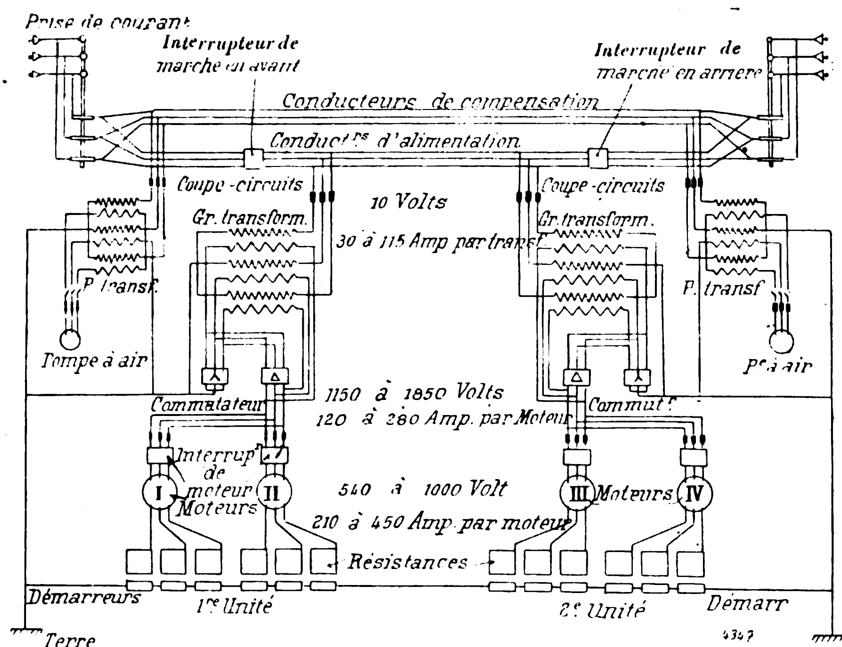



Fig. 12. — Schéma des connexions sur la voiture.

appareils, soit avec le réservoir d'air comprimé, soit avec l'atmosphère. Pour le départ, les leviers sont à manœuvrer dans l'ordre suivant : Levier de l'interrupteur inverseur de marche (avant

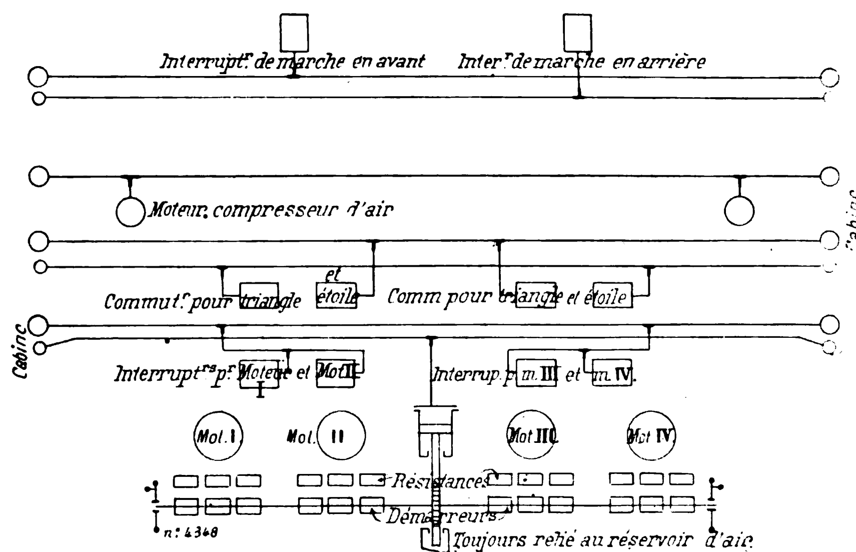



Fig. 13. — Manœuvre des deux interrupteurs principaux.

ou arrière); levier des moteurs, levier des démarreurs, puis roue à main des résistances réglables.

Des deux interrupteurs généraux placés sur la voiture, un seul doit être fermé à la fois, car ils

sont, comme le montre le schéma (fig. 13), disposés pour permettre la marche chacun dans un sens différent.

Sur la table se trouve encore, à portée de la main, le robinet du frein Westinghouse et l'interrupteur de la pompe à air; au voisinage de la table, les appareils de mesure : manomètres, ampèremètres, voltmètres, tachymètres.

L'éclairage est assuré par une batterie d'accumulateurs, et, en cas de détresse, par des bougies.

(*A suivre.*)

A. Mauduit.

# DISPOSITIFS PHOTO-ÉLECTRIQUES

## POUR LA LECTURE PAR LES AVEUGLES D'OUVRAGES IMPRIMÉS [1]

Les ouvrages composés en caractères en relief [2], bien que rendant d'immenses services aux aveugles, ont l'inconvénient de coûter fort cher, et, par suite, d'être extrêmement peu nombreux.

Divers appareils [3] permettraient cependant la lecture par les aveugles des ouvrages imprimés en caractères ordinaires et supprimeraient ce double inconvénient. Mais si, en raison de la complication de ces appareils, on trouvait préférable de se borner pour le moment, à rendre possible aux aveugles la lecture d'ouvrages édités spécialement pour eux, mais dont le prix d'établissement ne fût pas plus élevé que celui des ouvrages ordinaires, il serait possible de résoudre ce problème dès maintenant, au moyen d'appareils électriques peu coûteux. Voici le principe de la méthode.

I. Principe de la méthode. — Supposons que sur une feuille de papier transparent on ait imprimé, sur fond noir, une série de petits carrés ou points blancs (fig. 1) séparés par des intervalles dont la grandeur est terminée de telle sorte que l'ensemble d'un certain nombre d'intervalles et de points représente conventionnellement une lettre de l'alphabet. Plaçons cette feuille de papier dans un châssis, entre deux lames de verre minces, fortement éclairé et mettons en avant un écran opaque *a* percé d'une ouverture *b* (fig. 1) [4]. En déplaçant cet écran (dans le sens ordinaire de la lecture, c'est-à-dire de gauche à droite) d'un bout à l'autre de chacune des lignes, un faisceau lumineux passera d'une manière intermittente à travers l'ensemble. Si nous recevons ce faisceau sur un appareil capable de rendre un son sous l'iufluence de la lumière, un appareil *photophonique*, nous transformerons les signes conventionnels imprimés en signaux sonores et un aveugle pourra ainsi prendre connaissance par l'oreille du texte imprimé. Si les intervalles et les longueurs des lignes, le nombre de lignes contenues dans un



Fig. 1.

(1) Communication présentée au deuxième Congrès des Électriciens russes de 1902.

(2) Ce sont parfois des caractères ayant la forme ordinaire des caractères d'imprimerie, de très grandes dimensions mais la plupart sont constitués par des combinaisons de « points » formées d'après un code conventionnel, code Braille ou autre.

(3) J'ai publié les descriptions de divers projets d'appareils dans plusieurs revues ; quelques uns de ces projets ont été exposés à l'Exposition d'électricité qui a eu lieu pendant le premier Congrès des électriciens russes, 1899-1900.

(4) Les deux dessins schématiques de cet article sont très agrandis.

feuillet, les dimensions du châssis, des lames de verre, etc., sont fixées une fois pour toutes, l'aveugle ne tardera pas à acquérir l'habileté nécessaire pour effectuer lui-même les diverses opérations qu'exige cette lecture au son.

II. Appareils photophoniques. — Nombreux sont les dispositifs permettant de transformer en signaux sonores les signes conventionnels imprimés ; je n'en décrirai que quelques-uns, qui utilisent des phénomènes électriques.

1° On peut, par exemple, recevoir les rayons lumineux sur une plaque de *sélénium*, intercalée dans un circuit qu'alimente une batterie galvanique et qui contient un appareil électromagnétique *entrant en action avec un léger bruit chaque fois que sous l'action des rayons lumineux la conductibilité du sélénium augmente* (1).

2° On peut aussi employer le dispositif suivant : Un pont Wheatstone est alimenté par un courant alternatif ou intermittent dont le générateur est intercalé dans une des diagonales du pont. L'autre diagonale contient un téléphone. Une des branches contient une plaque de sélénium et le pont est équilibré de manière que le téléphone se tait tant que la plaque n'est pas éclairée par les rayons lumineux s'échappant à travers les points transparents. Aussitôt qu'elle l'est, le téléphone émet un son.

3° Un autre dispositif consisterait en un téléphone différentiel (alimenté par des courants alternatifs ou intermittents) dont un circuit contient une plaque de sélénium, les deux circuits étant équilibrés de manière que leurs actions se neutralisent et le téléphone se taise, par conséquent, tant que la plaque de sélénium n'est pas éclairée (2).

4° On peut encore employer la disposition suivante : Mettre en circuit un générateur de courant

---

(1) Il serait aussi possible de se servir d'un appareil construit et fonctionnant comme il suit : L'équipage mobile d'un radiomètre Crookes est suspendu par un fil de platine très fin. En déviant sous l'action de la lumière l'équipage mobile entraîne un levier métallique qui heurte un butoir, métallique aussi, réuni à un pôle d'une batterie galvanique dont l'autre pôle est relié au fil de platine. Cette fermeture du circuit met en action, par l'intermédiaire d'un relais, un petit dispositif électromagnétique qui fait résonner un signal acoustique.

Pour rompre le collage éventuel entre le levier et le butoir, l'équipage du radiomètre porte un petit disque métallique et le dispositif électromagnétique dont il vient d'être question a aussi pour fonction de fermer le circuit d'un courant alternatif — (généré, par exemple par un *sinus-inducteur* Kohlrausch) — lequel en se bifurquant produit un *champ tournant* ; et ce champ tournant en agissant sur le disque métallique fait revenir l'équipage du radiomètre dans sa position initiale.

(2) Il est facile de se rendre compte du degré de sensibilité de ces appareils. Supposons : les points transparents formés par des carrés de $0{,}25 \times 0{,}25$ mm², le diamètre de l'ouverture du système optique égal au cinquième de sa longueur focale (et nous possédons à l'heure qu'il est des systèmes optiques ayant le diamètre d'ouverture égal à $\frac{1}{3{,}5}$ de la longueur focale ; ces systèmes, *cæteris paribus*, donneraient un éclairement double), l'intensité de la source lumineuse de 20 bougies, la surface éclairante égale à 1 cm², la surface de la plaque en sélénium égale à $2 \times 2$ mm² ; l'éclairement de cette plaque serait 51 bougies-mètre (lux) si une certaine portion de lumière n'était absorbée par la matière du feuillet transparent, réfléchie par les verres, etc.

En effet, admettons, pour fixer les idées, que le diamètre de l'ouverture du système optique soit de 2 cm, la distance focale, 10 cm, la distance entre la source de lumière et le système optique égale à 1 m. La lumière qui entre dans le système optique est concentrée dans l'image de la source lumineuse ; et la plaque *a* doit être placée de manière que l'image en question se pose sur l'ouverture *b*. Cette image sera (comme on peut le calculer d'après les formules d'optique) un carré de la grandeur de $1{,}1$ mm $\times$ $1{,}1$ mm soit $1{,}2$ mm². L'éclairement de la surface de l'ouverture du système optique égale 20 bougies-mètre (lux) ; la surface de cette ouverture est $3{,}14$ cm², et comme la lumière qui y entre se concentre dans un carré de $1{,}2$ mm² l'éclairement de ce carré et du trou *b*, ainsi que du point transparent qui s'y trouve au moment donné sera donc $20 \times \frac{3{,}14 \text{ cm}^2}{1{,}2 \text{ mm}^2}$ soit 5233 bougies-mètre. La lumière qui frappe le point transparent, le traverse et sort en faisceau de rayons divergents éclairant la plaque de sélénium de $2$ mm $\times$ $2$ mm. Si cette plaque était placée trop près du trou *b* elle ne serait pas éclairée toute entière ; si elle était placée trop loin, elle ne recevrait pas tous les rayons. Il faudra donc la placer là où la section du faisceau représente un cercle du rayon $\sqrt{2}$ mm *tout juste suffisant pour entourer un carré de 2 mm × 2 mm*. L'éclairement de ce cercle, dont la surface est $6{,}28$ mm² sera (en nous rappelant que la surface du point transparent égale $\frac{1}{16}$ mm²,

****

constant, la plaque en sélénium et un téléphone ordinaire (non différentiel) et placer derrière l'écran opaque *a*, sur le chemin des rayons lumineux, une roue opaque munie d'une série d'ouvertures pratiquées suivant un cercle. Cette roue tournant à une vitesse convenable, les rayons sont tantôt interceptés, tantôt libres de tomber sur le trou *b*, lequel se trouve éclairé alors de façon intermittente, 1 000 fois par seconde, par exemple. Dans ces conditions, chaque fois qu'un point transparent viendra se poser sur le trou *b*, le téléphone émettra un son — dont la hauteur correspondra à la fréquence que je viens de mentionner — et qui cessera aussitôt que le point aura passé.

5° Rien n'empêchera de représenter les lettres par des combinaisons de plusieurs points disposés non pas suivant une seule, mais suivant trois séries horizontales (de sorte que chaque ligne d'impression serait composée de trois séries horizontales de points), tout comme c'est le cas dans le code Braille, avec cette différence *qu'au lieu de points en relief sur fond plat, on aurait des points transparents sur fond noir et que les dimensions des points ainsi que les intervalles les séparant seraient très réduits.*

Dans ces conditions, on pourrait employer le dispositif suivant : L'écran opaque *a* est muni cette fois (fig. 2) d'une fente verticale rectangulaire *c* (au lieu du trou carré) dont la hauteur est égale à la largeur de la ligne à trois séries. Devant cette fente se trouve, comme dans les dispositifs précédents, une plaque de sélénium (*une seule*) intercalée dans un circuit alimenté par un courant électrique constant et contenant un téléphone. Derrière la fente *c* et frôlant presque l'écran *a*, se trouve, sur le chemin des rayons lumineux, une roue opaque munie de *trois séries d'ouvertures* qui sont pratiquées suivant trois cercles concentriques. Ces ouvertures sont disposées de manière, et leur nombre respectif dans les trois cercles est tel que chaque point de la première série horizontale d'une ligne, quand il vient sur la fente *c*, est éclairé périodiquement à la fréquence, par exemple, de 1 000 fois par seconde [1], et chaque point de la seconde, à la fréquence de 1 200 par seconde, et chaque point de la troisième, à la fréquence de 1 500 par seconde. Les éclairements se communiquent à la plaque en sélénium et le téléphone qui est dans le même circuit émet tantôt telle ou telle note musicale distincte, tantôt deux ou trois notes à la fois. Il est bon de remarquer que dans ce dispositif, tout se passe comme si on avait *trois* plaques de sélénium, *trois* circuits et *trois* téléphones distincts ; les nombreux travaux sur le sélénium, le radiophone à sélénium et le téléphone *nous en donnent la certitude.*

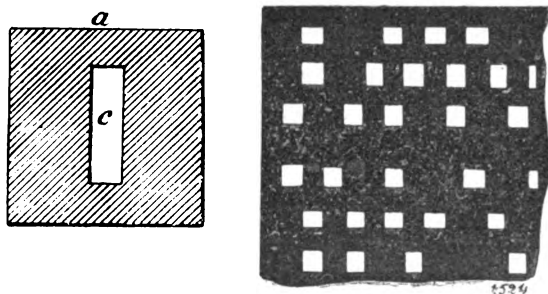



Fig. 2.

Il va sans dire qu'on aurait pu aussi intercaler le téléphone, non pas dans le circuit principal, mais dans un shunt pris sur les bornes de la plaque de sélénium et interrompu par un condensateur ; ou bien dans le secondaire d'une bobine d'induction dont le primaire soit intercalé dans le circuit principal, etc.

---

que son éclairement est 5 233 bougies-mètre et que le cercle en question ne reçoit que la lumière qui a traversé le point transparent, $\frac{\frac{1}{16}\ \text{mm}^2}{6{,}28\ \text{mm}^2} \times 5\,233$ soit *51 bougies-mètres*.

Je mentionnerai ici que la résistance électrique des plaques en sélénium de 2 mm × 2 mm que livrent les ateliers bien connus Clausen et von Bronk (Berlin) est à peu près de 800 000 ohms dans l'obscurité, d'après les renseignements que m'ont donnés MM. Clausen et von Bronk, et que l'éclairement d'une seule bougie-mètre suffit pour diminuer cette résistance de quelques milliers d'ohms. Une pareille plaque, toujours d'après MM. Clausen et von Bronk, peut supporter des intensités de courant allant jusqu'à 1 milliampère. Son prix est de 25 marks allemands ou un peu moindre.

(1) Ce qui, bien entendu, ne veut pas dire que le point mette une seconde entière à passer sous la fente *c*.

6° Je n'ai parlé, jusqu'à présent, que des appareils photophonique à sélénium ; mais on aurait pu en employer d'autres ; par exemple, l'appareil photophonique de M. Mercadier. J'en rappellerai en quelques mots la construction (1).

Le diaphragme d'un microphone est recouvert de noir de fumée et forme, en quelque sorte, le fond d'une boîte à air close qui a pour couvercle une lame de verre. Le microphone est intercalé dans le circuit d'une batterie galvanique, et ce circuit contient aussi le primaire d'une bobine d'induction dont le secondaire est fermé sur un téléphone. Les rayon lumineux traversent la lame de verre et frappent le diaphragme noirci.

7° On pourrait aussi (surtout avec des sources lumineuses puissantes) se servir d'appareils photophoniques non électriques, tels que les tubes Mercadier, contenant de petites plaques de mica enduites de noir de fumée, l'appareil Tainter ; etc., etc.

VL. DE TURINE
Saint-Pétersbourg.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## ALTERNATEURS

***Calcul de la chute de tension des alternateurs***, par **J. Fischer-Hinnen**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 1061, 26 décembre 1901.

Les méthodes employées pour la détermination de la chute de tension des alternateurs, et se basant sur des essais à vide, se réduisent à deux principales :

1° La méthode de Behn Eschenburg, dans laquelle on déduit la tension aux bornes pour une charge et une excitation données, de la force électromotrice à vide et de la force électromotrice de self induction ; elle est représentée

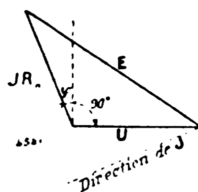


Fig. 1.

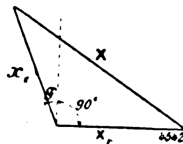


Fig. 2.

par le diagramme de la figure 1, où E désigne la force électromotrice engendrée à vide par un courant d'excitation X, U la tension aux bornes en charge, J le courant, $\varphi$ le décalage entre le courant et la tension aux bornes, $J_0$ le courant de de court-circuit pour l'excitation X, $R_0$ l'impédance apparente de l'alternateur pour l'excitation X, représentée par le quotient $\frac{E}{J_0}$.

2° La méthode de Rothert, employée aussi, à peu de chose près, par Heyland et Arnold, dans laquelle on calcule l'excitation nécessaire à la marche en charge sous une tension U, un courant J et un décalage $\varphi$, comme la résultante de l'excitation $X_r$ correspondant à la force électromotrice U à vide et de l'excitation $x_0$ donnant un courant J en court-circuit, ces deux vecteurs formant entre eux l'angle $\frac{\pi}{2} + \varphi$ ; c'est le diagramme de la figure 2.

L'expérience montre que ces deux méthodes donnent des résultats différents dans les machines normales : la méthode de Behn Eschenburg, conduit en général à des chutes de tension trop fortes et d'une quantité d'autant plus grande que la machine est plus saturée et le décalage plus considérable ; la méthode de Rothert, au contraire, donne des chutes de tension trop faibles. Ces conclusions sont valables pour à près tous les cas, sauf quelques rares exceptions, car il peut arriver, pour certaines machines, que ce soit l'inverse qui se présente.

M. Potier a donné (2) une méthode qui est, au fond, une combinaison des deux précédentes ; cette méthode nécessite deux calculs, mais cette complication est rachetée par une précision et une exactitude beaucoup plus grandes.

Soit à calculer la tension aux bornes corres-

(1) Voir *Traité de télégraphie électrique*, par H. Thomas, 1894, p. 620.

(2) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 133, 28 juillet 1900.

pondant à une excitation X, un courant J et un décalage $\varphi$ entre la tension aux bornes et le courant. Si l'on désigne par $\psi$ le décalage entre le courant et la force électromotrice, on calcule d'abord la force magnétomotrice, ou plus souvent l'excitation $X_r$ (ces deux quantités diffèrent par un facteur constant) résultante de l'excitation X et des contre-ampères-tours de l'induit $x$ (réduits en courants d'excitation), d'après le diagramme de la figure 3, où $x$ et $X_r$ font entre eux l'angle $\frac{\pi}{2} + \psi$ ($\psi$ étant différent de $\varphi$, et plus grand que $\varphi$) : en se reportant à la caractéristique à vide, on trouve une force électromotrice $E_r$, correspondant à l'excitation $X_r$, et qui serait la tension aux bornes s'il n'existait pas d'autre cause de chute de tension que les contre-ampère-tours de l'induit.

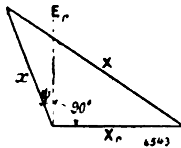



Fig. 3.

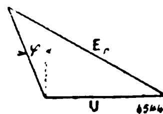



Fig. 4.

Pour tenir compte de la dispersion, on construit un second diagramme (fig. 4), dans lequel, en négligeant la chute ohmique, on obtient la tension aux bornes U, comme résultante de la force électro-motrice $E_r$ et de la force électromotrice de self induction $y$, les vecteurs U et $y$ faisant entre eux l'angle $\frac{\pi}{2} + \varphi$.

En traduisant algébriquement les diagrammes 3 et 4, on obtient les deux équations :

$$X_r = \sqrt{X^2 - x^2 \cos^2 \psi} - x \sin \psi \qquad (1)$$
$$U = \sqrt{E_r^2 - y^2 \cos^2 \varphi} - y \sin \varphi \qquad (2)$$

On pourra d'ailleurs tenir compte facilement de la chute ohmique en retranchant encore de la valeur U ainsi obtenue, RJ cos $\varphi$ [1].

[1] N. d. T. — L'auteur omet, parmi les méthodes de détermination de la tension aux bornes d'un alternateur, le procédé indiqué par M. Blondel, antérieurement à la note de M. Potier, dans l'*Industrie Électrique*, numéros des 10 novembre, 10 décembre et 25 décembre 1892.

M. Blondel sépare les trois causes de chute de tension (en négligeant d'abord la résistance ohmique) : dispersion et réaction transversale due aux courants wattés, ces deux premières parties rentrant dans un diagramme de force électromotrice, et une troisième partie la réaction directe des courants déwattés, qui constitue une force contre magnétomotrice et rentre dans un diagramme d'ampère-tours.

Cette méthode est représentée par les diagrammes des figures 5 et 6, dans lesquels, en plus des notations déjà connues, AB $= S\,\omega\,J$, représente la force électromotrice de self induction, ou le $y$ du diagramme de M. Potier, $\lambda\,\omega\,J \cos \psi$, la force électromotrice engendrée par le flux de réaction transversale OC $=$ E', la force électromotrice résultante de tous ces vecteurs. Sur la caractéristique à vide, correspond à cette force électromotrice E' une excitation X' qui serait l'excitation nécessaire pour la marche en charge si la réaction directe n'existait pas. Mais la réaction directe équivalant à une perte d'ampère-tours, il faut la compenser par un supplément d'excitation égal à $\mu$ J sin $\psi$; et le diagramme 6 donne finalement l'excitation X nécessaire à la marche en charge.

La différence entre les deux méthodes Blondel et Potier consiste donc en ce que :

M. Blondel distingue nettement la réaction transversale de la réaction directe ; les deux coefficients pouvant être différents, mais surtout, parce que la réaction transversale donne naissance à un flux qui traverse seulement les pièces polaires, tandis que la réaction directe consiste en une force contre-magnétomotrice, et que, par suite, l'une doit rentrer dans les diagrammes de force électromotrice et l'autre dans les diagrammes de force magnétomotrice ; au contraire, M. Potier suppose égaux les deux coefficients de réaction, et assimile les deux actions à une seule force contre-magnétomotrice dirigée suivant le sens du courant.

La première partie du diagramme (5) OAB est identique au diagramme (4) de M. Potier.

Mais au diagramme (6), M. Potier substitue le diagramme OBH, où les longueurs désignent maintenant des excitations, savoir OB $= X_r$, OH $=$ X, BH $= x$ et angle OBH $= \frac{\pi}{2} + \psi$, ce qui constitue exactement le diagramme 3 puisque BC devient $x \cos \psi$ et CH, $x \sin \psi$, après réduction en courants d'excitation.

La méthode Potier donne des résultats incomparablement plus voisins des valeurs observées, que les méthodes précédentes : voir table I et table II.

Le premier diagramme de la méthode de M. Potier ressemble à celui de Rothert; mais l'angle des vecteurs à composer est $\psi$ et non $\varphi$. C'est là une des difficultés de l'emploi de la méthode Potier : car l'angle $\psi$ n'est pas connu.

Pour en faciliter l'emploi, l'auteur donne une table (table III), dans laquelle il a calculé, sur différentes machines, les valeurs moyennes de cos $\psi$ et sin $\psi$, en fonction de cos $\varphi$ et sin $\varphi$, ce qui peut être très utile pour un calcul approximatif [1].

[1] N. d. T. — Le calcul direct de l'angle $\psi$ est relati-

# TABLEAU I

## *Constantes des alternateurs.*

| N° | TYPE | PUISSANCE NORMALE kilovolt-amp. | PUISSANCE NORMALE pour cos φ. | PUISSANCE NORMALE nombre de tours. | COURANT $J$ | cos φ. | EXCITATION $X$ | COURANT $J_2$ en court-circuit pour l'excitation $X$. | $x$ | $y$ | Résistance par phase Ω | REMARQUES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Pôles alternés (polyphasé) ou hétéropolaires. | — | — | — | 18,2 | 0 | 5,8 A | 58 | 1,55 | 18,6 | ? | *ETZ*, 1899, p. 839 (Behrend). Entrefer 1 mm. |
| | | | | | 22 | 0 | | | 1,87 | 22,5 | | |
| | | | | | 29,4 | 0 | | | *2,5 | *30 | | |
| | | | | | 15,6 | 0 | 4 A | 41 | 1,33 | 16 | | |
| | | | | | 18,2 | 0 | | | 1,55 | 18,6 | | |
| | | | | | 23 | 0 | | | 1,96 | 23,5 | | |
| | | | | | 9,2 | 0 | 2 A | 22 | 0,78 | 9,4 | | |
| | | | | | 12,6 | 0 | | | 1,07 | 12,9 | | |
| 2 | Homopolaire (polyphasé). | — | — | — | 375 | 0 | 35 A | 2 360 | *4 | *33,5 | ? | *ETZ*, 1899, p. 839 (Behrend). |
| | | | | | 360 | 0 | 11,5 A | ca. 800 | 3,84 | 32 | | |
| 3 | Hétéropolaire monophasé avec amortisseurs. | 600 | 0,8 | 60 | 175 | 1 | 56 A | 267 | 10,3 | 950 | 0,43 | *Éclairage Électrique*, 28 juillet 1900 (Farcot). |
| | | | | | 153 | 0,5 | 103 A | — | *9 | *830 | | |
| 4 | Hétéropolaire polyphasé. | 760 | 0,85 | 94 | 100 | 0 | 150 A | ca. 660 | 11 | *150 | ? | *ETZ*, 1900, p. 1015 (Heyland). |
| 5 | Hétéropolaire polyphasé. | 780 | 0,85 | 93,8 | 150 | 0,85 | 6 350 *at* | 510 | 1 100 | *220 | ? | *Electr. World*, 9 février 1901 (Kolben), 5 mm d'entrefer. |
| 6 | Homopolaire polyphasé. | — | — | — | 32 | 1 | 4,45 A | 94 | 0,96 | 13,5 | 0,07 | *ETZ*, 1896, p. 771 (Behrend). |
| | | | | | 45 | 0 | 6,7 A | 143 | *1,35 | *19 | | |
| 7 | Homopolaire polyphasé. | 60 | 0,75 | 750 | 3,98 | 1 | 11,2 A | 11,9 | — | — | 16 | *Éclairage Électr.*, 22 juin 1901 (Sautter-Harlé). |
| | | | | | 5,08 | | 17,8 A | 19,3 | — | — | | |
| | | | | | 5,55 | | 25 A | 26 | — | — | | |
| 8 | Hétéropolaire polyphasé | 1 375 | 0,8 | 94 | 140 | 0,8 | 120 A | 540 | 9,9 | 1 700 | ? | *Éclairage Électr.*, 16 février 1901 (Oerlikon), entrefer 4,5 mm. |
| | | | | | 220 | 0,8 | 200 A | 880 | *15,5 | *2 680 | | |
| 9 | Hétéropolaire polyphasé. | 1 200 | 0,85 | 100 | 340 | 0,8 | 65 A | 940 | 12,8 | 605 | ? | *ETZ*, 1900, p. 150 (Oerlikon). |
| | | | | | 450 | 0 | 120 A | 1 430 | *17 | *800 | | |
| 10 | Hétéropolaire diphasé. | 250 | 0,8 | 60 | 18,2 | 1 | 66 A | 108 | 3,4 | 500 | 2,2 | *ETZ*, 1897, p. 123 (Brown, Boveri et Cie). |
| | | | | | 36,5 | 1 | 85 A | 133 | 6,8 | 1 000 | | |
| | | | | | 40 | 0,8 | 116 A | 166 | *7,5 | *1 100 | | |
| 11 | Hétéropolaire polyphasé. | 1 760 | 0,85 | 83,3 | 170 | 0,85 | 10 400 *at* | ca. 640 | *1970 | *640 | ? | *Electr. World*, 9 février 1901 Brown, Boveri et Cie), ent. 10 mm |
| 12 | Homopolaire polyphasé. | 650 | 0,8 | 250 | 46 | 0,8 | 13 300 *at* | 127 | 3 820 | 965 | 1,37 | *Éclairage Électr.*, 20 juillet 1901 (Oerlikon), entrefer 4 mm. |
| | | | | | 100 | 0,7 | 21 500 *at* | 207 | *8 300 | *2 100 | | |
| 13 | Hétéropolaire polyphasé. | 47 | 1 | 600 | 199 | 0,578 | 18,75 A | 400 | *8,3 | *24 | ? | *ETZ*, 1899, p. 657 (Rothert). |
| 14 | Homopolaire polyphasé. | 30 | 0,8 | 600 | 167 | 0 | 4,18 A | 380 | 0,55 | 41 | 0,26 | *D. T.* 25 (Farcot). |
| | | | | | 167 | 1 | 4,18 A | 380 | 0,55 | 41 | | |
| | | | | | 80 | 0 | 4,18 A | 380 | *0,264 | *19,6 | | |
| 15 | Hétéropolaire polyphasé. | 1 830 | 0,8 | 180 | 79 | 0,8 | 215 A | 300 | 33 | 2 940 | ? | Arnold, Konstrukt-Tafeln (Brown, Boveri et Cie). |

Les valeurs munies d'un astérique sont déduites directement des essais ; pour les autres, on a fait la proportionnalité avec les courants.

# Tableau II

*Calcul de la tension aux bornes d'après les différentes méthodes.*

| N° | Courant J | cos φ | Tension aux bornes mesurée. | Calcul d'après Rothert | | | Calcul d'après Behn-Eschenburg | | | Calcul d'après Potier | | | Erreur en p. 100 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $x_0$ | $X_r$ | U calculé | E | $R_0$ | U calculé | $X_r$ | $E_r$ | U calculé | Rothert | Behn-Eschenburg. | Potier. |
| 1 | 18,2 | 0 | 244 | 1,73 | 4,07 | 264 | 285 | 4,91 | 195 | 4,25 | 267 | 248 | + 8,2 | — 20 | + 1,6 |
| | 22 | 0 | 235 | 2,10 | 3,70 | 257 | 285 | 4,91 | 177 | 3,93 | 261 | 239 | + 9,4 | — 24,7 | + 1,7 |
| | 29,4 | 0 | 216 | 2,80 | 3,00 | 240 | 285 | 4,91 | 140 | 3,30 | 247 | 217 | + 11,1 | — 35,2 | + 0,5 |
| | 15,6 | 0 | 213 | 1,49 | 2,51 | 223 | 262 | 6,40 | 162 | 2,67 | 229 | 213 | + 7,5 | — 23,9 | 0 |
| | 18,2 | 0 | 195 | 1,73 | 2,27 | 214 | 262 | 6,40 | 146 | 2,45 | 221 | 202 | + 9,7 | — 25,1 | + 3,6 |
| | 23 | 0 | 170 | 2,19 | 1,81 | 189 | 262 | 6,40 | 116 | 2,04 | 202 | 179 | + 11,2 | — 31,7 | + 5,3 |
| | 9,2 | 0 | 120 | 0,88 | 1,12 | 130 | 200 | 9,10 | 116 | 1,22 | 146 | 137 | + 8,3 | — 3,3 | + 14,2 |
| | 12,6 | 0 | 85,5 | 1,20 | 0,80 | 100 | 200 | 9,10 | 85 | 0,93 | 117 | 104 | + 16,9 | — 0,6 | + 21,6 |
| 2 | 375 | 0 | 260 | 5,2 | 29,8 | 292 | 300 | 0,127 | 252 | 31 | 293,5 | 260 | + 12,3 | — 3,1 | 0 |
| | 360 | 0 | 117 | — | — | 131 | 212 | 0,265 | 117 | 7,66 | 151 | 119 | + 12,0 | 0 | + 1,7 |
| 3 | 175 | 1 | 2 960 | 31 | 44,5 | 3 105 | 3 480 | 13 | 2 555 | 50,4 | 3 360 | 3 145 | + 4,9 | — 13,7 | + 6,2 |
| | 153 | 0,5 | 3 105 | 29 | 67,2 | 3 660 | 3 895 | — | — | 94,5 | 3 870 | 3 128 | + 17,9 | — | + 7,1 |
| 4 | 100 | 0 | 2 140 | — | — | — | 2 380 | 3,61 | 2 019 | 139 | 3 290 | 2 140 | — | — 5,6 | 0 |
| 5 | 150 | 0,85 | 3 000 | 1 350 | 5520 | 3 070 | 3 220 | 6,3 | 2 710 | 5 600 | 5 080 | 2 960 | + 2,3 | — 9,7 | — 1,3 |
| 6 | 32 | 1 | 63,5 | 1,5 | 4,19 | 66,7 | 71 | 0,76 | 65 | 3,93 | 67 | 63,5 | + 5,1 | + 2,4 | — 0,3 |
| | 45 | 0 | 59 | 2,2 | 4,50 | 72 | 84,5 | 0,59 | 57,9 | 5,35 | 91 | 72 | + 22 | — 1,8 | + 13,7 |
| 7 | 3,98 | 1 | 2 020 | — | — | — | 2 240 | 188 | 2 046 | — | — | — | — | + 0,3 | — |
| | 5,08 | 1 | 2 640 | — | — | — | 3 020 | 156 | 2 834 | — | — | — | — | + 7,3 | — |
| | 5,55 | 1 | 2 900 | — | — | — | 3 380 | 130 | 3 200 | — | — | — | — | + 10,3 | — |
| 8 | 140 | 0,8 | 5 500 | 30 | 100 | 6 000 | 6 520 | 12 | 5 380 | 112 | 6 340 | 5 150 | + 9,1 | — 21,8 | — 6,36 |
| | 220 | 0,8 | 5 500 | 48 | 167,2 | 7 300 | 7 560 | 8,6 | 6 280 | 188 | 7 480 | 5 560 | + 32,8 | + 14,2 | + 1,1 |
| 9 | 340 | 0,8 | 2 000 | 22,5 | 49 | 2 210 | 2 515 | 2,68 | 1 860 | 55 | 2 350 | 1 940 | + 10,5 | — 7 | — 3 |
| | 450 | 0 | 2 000 | 30 | 90 | 2 720 | 2 900 | 2,03 | 1 985 | 103 | 2 800 | 2 000 | + 36 | — 0,7 | 0 |
| 10 | 18,2 | 1 | 3 150 | 11 | 65 | 3 260 | 3 300 | 30,5 | 3 210 | 64 | 3 260 | 3 180 | + 3,5 | + 1,9 | 0,9 |
| | 36,5 | 1 | 3 370 | 22,5 | 82 | 3 470 | 3 590 | 27 | 3 370 | 81 | 3 540 | 3 310 | + 2,9 | 0 | — 1,8 |
| | 40 | 0,8 | 3 070 | 24 | 100 | 3 700 | 3 890 | 23,4 | 3 070 | 110,5 | 3 840 | 3 080 | + 20,5 | 0 | + 3,2 |
| 11 | 170 | 0,85 | 6 000 | 2 650 | 8750 | 6 300 | 6 800 | 10,6 | 5 680 | 8 950 | 6 360 | 6 000 | + 5 | — 5,3 | 0 |
| 12 | 46 | 0,8 | 7 500 | 4 600 | 10160 | 7 920 | 9 000 | 71 | 6 665 | 10 500 | 8 020 | 7 400 | + 5,6 | — 11,1 | — 1,3 |
| | 100 | 0,7 | 7 500 | 10 450 | 12860 | 8 850 | 10 150 | 49 | 6 050 | 7 655 | 9 275 | 7 655 | + 18 | — 19,3 | + 2,1 |
| 13 | 199 | 0,578 | 220 | 7,15 | 12,45 | 253 | 297 | 0,74 | 164 | 11,1 | 239 | 219 | + 15 | — 25,4 | — 0,5 |
| 14 | 167 | 0 | 52 | 1,55 | 2,63 | 84 | 96,5 | 0,254 | 54 | 3,63 | 93 | 52 | + 61,5 | + 3,8 | 0 |
| | 167 | 1 | 75 | 1,55 | 3,88 | 89,6 | 96,5 | 0,254 | 82,4 | 3,88 | 94,5 | 80,5 | + 19,5 | + 9,9 | + 7,35 |
| | 80 | 0 | 77,5 | 0,75 | 3,43 | 91,6 | 96,5 | 0,254 | 76 | 3,92 | 95 | 75,4 | + 18,2 | — 1,9 | — 2,7 |
| 15 | 79 | 0,8 | 13 500 | — | — | — | 16 100 | 53,6 | 13 200 | 190 | 15 550 | 13 600 | — | — 2,2 | + 0,7 |

Tableau III

| cos $\varphi$ | sin $\varphi$ | cos $\psi$ | sin $\psi$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0,87 | 0,494 |
| 0,95 | 0,313 | 0,83 | 0,558 |
| 0,90 | 0,436 | 0,80 | 0,600 |
| 0,85 | 0,527 | 0,73 | 0,683 |
| 0,80 | 0,600 | 0,70 | 0,713 |
| 0,75 | 0,661 | 0,65 | 0,760 |
| 0,70 | 0,713 | 0,60 | 0,800 |
| 0,65 | 0,760 | 0,54 | 0,842 |
| 0,60 | 0,800 | 0,52 | 0,854 |
| 0,55 | 0,835 | 0,48 | 0,877 |
| 0,50 | 0,866 | 0,44 | 0,897 |
| 0,40 | 0,916 | 0,36 | 0,933 |
| 0,30 | 0,954 | 0,27 | 0,963 |
| 0,20 | 0,980 | 0,18 | 0,983 |
| 0 | 1,000 | 0 | 1,000 |

L'angle $\psi$ étant ainsi déterminé, la méthode

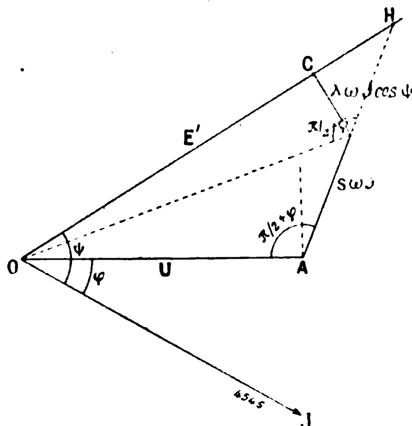



Fig. 5.

Potier conduit à la résolution de deux triangles dont on connaît deux côtés et un angle : le calcul sera rendu très facile par l'emploi de la table IV, à double entrée. Si on désigne par $a$, $b$, $c$ les

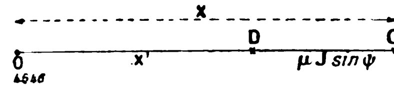



Fig. 6.

côtés du triangle (fig. 7), et par $90° + \gamma$ l'angle compris entre $a$ et $b$, la table donne les valeurs de $\frac{a}{c}$ correspondant à diverses valeurs de $\frac{b}{c}$ et

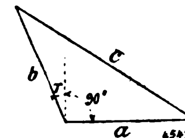



Fig. 7.

de cos $\gamma$, suivant qu'il s'agit de calculer l'excitation résultante ou la tension aux bornes, on a ;

$$\frac{b}{c} = \frac{x}{X} \text{ ou } \frac{y}{Er}$$
$$\frac{a}{c} = \frac{Xr}{X} \text{ ou } \frac{U}{Er}$$
$$\gamma = \psi \text{ ou } \varphi.$$

Pour résoudre l'un des deux problèmes suivants :

1° Calculer la tension aux bornes en partant de l'excitation.

2° Calculer l'excitation en partant de la tension aux bornes.

On déterminera d'abord $\psi$, soit au moyen de la table III, soit en utilisant la formule de la note ci-

---

vement facile. Si on se reporte à la méthode de M. Blondel (note précédente) et à la figure 5, on a :

$$\text{tg}\,\psi = \frac{U\sin\varphi + (\lambda + S)\,\omega J}{U\cos\varphi + RJ}.$$

Dans cette expression $S\omega J = y$, valeurs connues ; $\lambda\omega J$ représente la force électromotrice correspondant à la réaction transversale. Si on suppose que le coefficient de réaction directe est égal au coefficient de réaction transversale, pour un fonctionnement loin de la saturation (hypothèse souvent vérifiée, et qui, d'ailleurs, est une des bases de la méthode Potier), on voit que $\lambda\omega J$ représente la force électromotrice correspondante à l'excitation $x$, et, par suite, en se reportant à la caractéristique à vide, on y trouvera immédiatement $\lambda\omega J = x'$, comme ordonnée de l'abcisse $x$.

La formule devient ainsi :

$$\text{tg}\,\psi = \frac{U\sin\varphi + y + x'}{U\cos\varphi + RJ}.$$

Si on se propose de calculer l'excitation nécessaire pour une marche en charge à tension U, U étant donné, la formule indiquera immédiatement $\psi$.

Si au contraire on se propose de calculer la tension aux bornes correspondant à une excitation donnée, on opérera par approximations successives, ce qui nécessitera deux calculs : on partira d'une valeur de $\psi$ déduite de la table III, et quand on aura obtenu le U correspondant, on calculera $\psi$ par la formule, et reprenant les calculs avec cette nouvelle valeur de $\psi$ on arrivera finalement à une valeur de U suffisamment approchée.

TABLEAU IV (Voir figure 7).

Valeurs de $\frac{a}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{c} \cos \gamma\right)^2} - \frac{b}{c} \sin \gamma$.

| $\frac{b}{c}$ | cos γ = | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,60 | 0,50 | 0 |
| 0,02 | 1,000 | 0,995 | 0,991 | 0,990 | 0,988 | 0,987 | 0,986 | 0,984 | 0,982 | 0,980 |
| 0,04 | 0,999 | 0,988 | 0,982 | 0,948 | 0,975 | 0,973 | 0,971 | 0,968 | 0,965 | 0,960 |
| 0,06 | 0,999 | 0,981 | 0,972 | 0,967 | 0,962 | 0,959 | 0,956 | 0,951 | 0,947 | 0,940 |
| 0,08 | 0,998 | 0,973 | 0,962 | 0,955 | 0,949 | 0,945 | 0,940 | 0,934 | 0,930 | 0,920 |
| 0,10 | 0,996 | 0,965 | 0,952 | 0,943 | 0,936 | 0,931 | 0,926 | 0,918 | 0,911 | 0,900 |
| 0,12 | 0,994 | 0,958 | 0,942 | 0,931 | 0,922 | 0,916 | 0,910 | 0,900 | 0,894 | 0,880 |
| 0,14 | 0,991 | 0,949 | 0,931 | 0,918 | 0,910 | 0,902 | 0,894 | 0,884 | 0,875 | 0,860 |
| 0,16 | 0,988 | 0,940 | 0,921 | 0,906 | 0,895 | 0,887 | 0,878 | 0,867 | 0,858 | 0,840 |
| 0,18 | 0,984 | 0,930 | 0,909 | 0,894 | 0,882 | 0,872 | 0,862 | 0,850 | 0,840 | 0,820 |
| 0,20 | 0,980 | 0,920 | 0,897 | 0,881 | 0,867 | 0,857 | 0,847 | 0,832 | 0,822 | 0,800 |
| 0,22 | 0,976 | 0,910 | 0,886 | 0,867 | 0,852 | 0,841 | 0,830 | 0,814 | 0,803 | 0,780 |
| 0,24 | 0,971 | 0,900 | 0,874 | 0,853 | 0,838 | 0,825 | 0,813 | 0,797 | 0,784 | 0,760 |
| 0,26 | 0,966 | 0,890 | 0,860 | 0,838 | 0,822 | 0,810 | 0,797 | 0,779 | 0,765 | 0,740 |
| 0,28 | 0,960 | 0,879 | 0,847 | 0,823 | 0,807 | 0,793 | 0,780 | 0,762 | 0,746 | 0,720 |
| 0,30 | 0,954 | 0,867 | 0,832 | 0,800 | 0,791 | 0,777 | 0,764 | 0,745 | 0,729 | 0,700 |
| 0,32 | 0,947 | 0,855 | 0,820 | 0,794 | 0,775 | 0,761 | 0,747 | 0,727 | 0,710 | 0,680 |
| 0,34 | 0,940 | 0,841 | 0,805 | 0,778 | 0,758 | 0,743 | 0,730 | 0,710 | 0,690 | 0,660 |
| 0,36 | 0,932 | 0,828 | 0,790 | 0,762 | 0,742 | 0,725 | 0,711 | 0,691 | 0,670 | 0,640 |
| 0,38 | 0,924 | 0,815 | 0,774 | 0,746 | 0,725 | 0,708 | 0,693 | 0,673 | 0,651 | 0,620 |
| 0,40 | 0,916 | 0,801 | 0,758 | 0,730 | 0,708 | 0,690 | 0,675 | 0,655 | 0,632 | 0,600 |
| 0,42 | 0,906 | 0,787 | 0,742 | 0,711 | 0,691 | 0,672 | 0,656 | 0,635 | 0,612 | 0,580 |
| 0,44 | 0,897 | 0,772 | 0,726 | 0,695 | 0,673 | 0,654 | 0,637 | 0,615 | 0,592 | 0,560 |
| 0,46 | 0,887 | 0,756 | 0,710 | 0,677 | 0,654 | 0,635 | 0,619 | 0,595 | 0,573 | 0,540 |
| 0,48 | 0,877 | 0,745 | 0,691 | 0,660 | 0,635 | 0,615 | 0,600 | 0,575 | 0,553 | 0,520 |
| 0,50 | 0,866 | 0,730 | 0,676 | 0,642 | 0,617 | 0,595 | 0,580 | 0,555 | 0,533 | 0,500 |
| 0,52 | 0,855 | 0,713 | 0,657 | 0,622 | 0,598 | 0,577 | 0,560 | 0,535 | 0,514 | 0,480 |
| 0,54 | 0,842 | 0,696 | 0,637 | 0,604 | 0,577 | 0,557 | 0,540 | 0,415 | 0,494 | 0,460 |
| 0,56 | 0,829 | 0,678 | 0,617 | 0,585 | 0,557 | 0,537 | 0,520 | 0,493 | 0,477 | 0,440 |
| 0,58 | 0,813 | 0,660 | 9,597 | 0,565 | 0,537 | 0,517 | 0,500 | 0,473 | 0,455 | 0,420 |
| 0,60 | 0,799 | 0,642 | 0,580 | 0,545 | 0,527 | 0,494 | 0,479 | 0,452 | 0,434 | 0,400 |
| 0,62 | 0,784 | 0,624 | 0,558 | 0,525 | 0,497 | 0,473 | 0,458 | 0,431 | 0,413 | 0,380 |
| 0,64 | 0,769 | 0,604 | 0,536 | 0,504 | 0,475 | 0,453 | 0,427 | 0,410 | 0,393 | 0,360 |
| 0,66 | 0,752 | 0,583 | 0,515 | 0,480 | 0,452 | 0,431 | 0,415 | 0,389 | 0,372 | 0,340 |
| 0,68 | 0,733 | 0,559 | 0,496 | 0,457 | 0,430 | 0,410 | 0,393 | 0,367 | 0,350 | 0,320 |
| 0,70 | 0,714 | 0,536 | 0,471 | 0,435 | 0,408 | 0,388 | 0,372 | 0,345 | 0,329 | 0,300 |
| 0,72 | 0,693 | 0,512 | 0,448 | 0,411 | 0,384 | 0,355 | 0,349 | 0,323 | 0,308 | 0,280 |
| 0,74 | 0,671 | 0,488 | 0,424 | 0,387 | 0,356 | 0,342 | 0,325 | 0,301 | 0,286 | 0,260 |
| 0,76 | 0,650 | 0,465 | 0,398 | 9,363 | 0,337 | 0,319 | 0,303 | 0,280 | 0,265 | 0,240 |
| 0,78 | 0,626 | 0,440 | 0,371 | 0,343 | 0,314 | 0,295 | 0,280 | 0,258 | 0,244 | 0,220 |
| 0,80 | 0,600 | 0,412 | 0,344 | 0,311 | 0,289 | 0,272 | 0,257 | 0,238 | 0,223 | 0,200 |
| 0,82 | 0,573 | 0,385 | 0,317 | 0,285 | 0,265 | 0,249 | 0,234 | 0,216 | 0,201 | 0,180 |
| 0,84 | 0,543 | 0,353 | 0,290 | 0,259 | 0,236 | 0,222 | 0,210 | 0,192 | 0,179 | 0,160 |
| 0,86 | 0,512 | 0,322 | 0,261 | 0,232 | 0,209 | 0,196 | 0,185 | 0,168 | 0,158 | 0,140 |
| 0,88 | 0,476 | 0,290 | 0,229 | 0,203 | 0,183 | 0,169 | 0,159 | 0,145 | 0,135 | 0,120 |
| 0,90 | 0,436 | 0,252 | 0,195 | 0,171 | 0,155 | 0,142 | 0,134 | 0,120 | 0,113 | 0,100 |
| 0,92 | 0,386 | 0,212 | 0,161 | 0,140 | 0,125 | 0,116 | 0,108 | 0,097 | 0,091 | 0,080 |
| 0,94 | 0,335 | 0,170 | 0,125 | 0,107 | 0,096 | 0,087 | 0,082 | 0,073 | 0,069 | 0,060 |
| 0,96 | 0,280 | 0,121 | 0,085 | 0,072 | 0,064 | 0,058 | 0,055 | 0,049 | 0,046 | 0,040 |
| 0,98 | 0,199 | 0,062 | 0,044 | 0,036 | 0,033 | 0,030 | 0,028 | 0,024 | 0,023 | 0,020 |
| 1,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

dessous, puis on résoudra les deux triangles dans l'ordre convenable.

Premier cas. — On cherche $\frac{X_r}{X}$ en fonction de $\frac{x}{X}$ et cos $\psi$. (Table IV).

A $X_r$ correspond sur la caractéristique une force électro-motrice $E_r$; et on trouve finalement $\frac{E}{U_r}$ en fonction de $\frac{y}{E_r}$ et cos $\varphi$, dans la même table.

Deuxième cas. — U est connu. On calcule $E_r$ par la formule :

$$E_r^2 = U^2 + y^2 + 2yU \sin \varphi.$$

A $E_r$ sur la caractéristique correspond $X_r$, et X se déduit finalement de

$$X^2 = X_r^2 + x^2 + 2xX_r \sin \psi.$$

En terminant, l'auteur rappelle le procédé indiqué par M. Potier pour obtenir expérimentalement $x$ et $y$ (1); il fait remarquer que la dispersion représente de 10 à 30 p. 100 de la tension aux bornes; et donne finalement une table (table V), qui montre la façon dont varie la tension aux bornes avec le décalage (1).

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, loc. cit.

On construit la courbe des tensions aux bornes en fonction des excitations, pour un débit purement déwatté de valeur constante $J_1$. La courbe obtenue II est la caractéristique à vide I déplacée parallèlement à elle-même d'une longueur Z (fig. 8). Les projections du déplacement Z sur les deux axes, représentant respectivement les valeurs de $x$ et $y$ correspondant au courant $J_1$; $x$ et $y$ sont d'ailleurs proportionnels aux courants (exception faite du cas des induits à trous, non repercés, où $y$ pour les faibles valeurs de $J_1$ suit la courbe du magnétisme des isthmes, et pour des valeurs plus grandes de $J_1$, peut être mis sous la forme

$$y = a J_1 + b.)$$

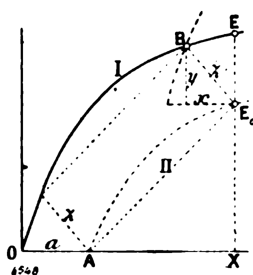



Fig. 8.

(1) N. d. T. — Ces différents modes de calcul de la tension aux bornes ou de l'excitation en charge supposent que la dispersion du champ inducteur reste constante entre la marche à vide et la pleine charge, ce qui est inexact, car cette dispersion augmente proportionnellement à l'excitation.

La correction due aux fuites de l'inducteur est assez complexe et nécessite la connaissance du coefficient $\nu_0$ d'Hopkinson à vide, et de l'excitation nécessaire pour amener le passage du flux dans le circuit seul des inducteurs, dans la même marche à vide.

On peut déterminer le $\nu_0$ d'Hopkinson, soit en le calculant d'après le croquis du circuit magnétique, soit en étudiant ce même circuit au balistique (procédé connu).

D'autre part, on peut déterminer approximativement le courant d'excitation nécessaire pour amener le passage du flux dans l'inducteur, en négligeant la réluctante de l'induit (toujours peu saturé dans les alternateurs), et retranchant des ampère-tours d'excitation à vide $mi_0$, le nombre d'ampère-tours nécessaires pour le passage de l'entrefer, $mi'_0$. Ce dernier nombre s'obtient en multipliant la longueur de l'entrefer double par l'induction $B_e$ dans l'entrefer, calculée d'après l'enroulement ou déterminée au balistique. En appelant $i''_0$ le courant d'excitation relatif à l'inducteur seul, on a

$$i''_0 = i_0 - i'_0.$$

D'ailleurs si $B_i$ désigne l'induction dans l'inducteur, supposé sans fuites, correspondant à l'induction $B_e$ dans l'entrefer, $\nu_0 B_i$ représente l'induction vraie à vide.

Pour calculer le $\nu$ d'Hopkinson en charge, nous supposerons que les fuites de l'inducteur sont proportionnelles à l'excitation, et commettrons une erreur par défaut, en supposant que dans cette proportionnalité on puisse négliger la correction elle-même, en écrivant :

$$\frac{\nu - 1}{\nu_0 - 1} = \frac{i}{i_0},$$

$i$ désignant le courant d'excitation calculé par les méthodes exposées plus haut.

Ceci posé, $\nu$ étant connu, l'induction sera $\nu B_i$ ; d'où on déduira le nombre d'ampère-tours correspondant $mi''$ (par proportionnalité si les inducteurs ne sont pas saturés, ou en tenant compte de l'induction et de la longueur, s'ils sont saturés). On aura alors finalement, pour la valeur de l'excitation corrigée :

$$i + i'' - i''_0.$$

Telle est la marche que l'on peut suivre, et qui est fort complexe, quand on veut calculer l'excitation en fonction de la tension aux bornes : si on se propose inversement de déduire la tension aux bornes de l'excitation $i$, le mieux est de négliger d'abord la correction, ce qui conduit à une valeur approchée $U_1$ de la tension. On calcu-

Tableau V

Rapport $\eta = \frac{U}{E}$ pour différents cos $\varphi$.

| cos $\varphi$ = | 1 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,60 | 0,40 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\eta =$ | 0,96 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,90 | 0,89 | 0,88 | 0,87 | 0,86 | 0,85 |
| | 0,95 | 0,90 | 0,88 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,82 | 0,80 | 0,79 | 0,78 |
| | 0,93 | 0,86 | 0,83 | 0,80 | 0,78 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,71 | 0,69 |
| | 0,90 | 0,81 | 0,78 | 0,75 | 0,73 | 0,71 | 0,69 | 0,67 | 0,65 | 0,63 |
| | 0,87 | 0,77 | 0,73 | 0,70 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,62 | 0,59 | 0,57 |
| | 0,84 | 0,72 | 0,69 | 0,65 | 0,63 | 0,61 | 0,59 | 0,57 | 0,54 | 0,52 |
| | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,61 | 0,59 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,50 | 0,48 |

A. Mauduit.

***Degré de saturation le plus favorable dans les alternateurs polyphasés,*** par **Émile Korrodi**, *Electrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 47, 16 janvier 1902.

Une élévation raisonnable du point de fonctionnement sur la caractéristique à vide d'un alternateur polyphasé, diminue la chute de tension : aussi est-on tenté de croire que la chute de tension sera d'autant plus faible qu'on se rapprochera davantage de la saturation. C'est une erreur; passé une certaine valeur de la saturation, la chute de tension recommence à croître ceci s'entendant naturellement, de machines ayant le même induit, mais présentant des saturations de l'inducteur et des longueurs d'entrefer différentes, de façon que le nombre d'ampères-tours totaux soit le même.

Considérons les machines 1 et 2 dont les caractéristiques à vide sont respectivement une droite *ob* (fig. 1) et une courbe *ogb*. Pour obtenir une saturation plus grande dans la machine 2, on a dû diminuer la longueur d'entrefer et la section de l'inducteur : dans ces conditions, les contre-ampères-tours sont restés égaux à *ae* dans les deux machines, mais les self-inductions ont varié en sens inverse des longueurs d'entrefer et sont respectivement $ef_1$ et $ef_2$.

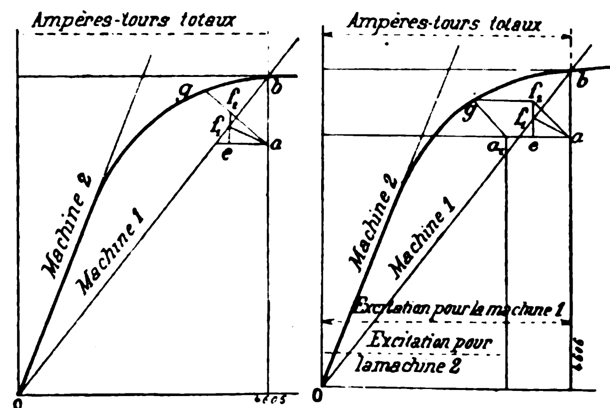



Fig. 1 et 2.

Si on prolonge la droite $af_2$ jusqu'à son intersection en $g$ avec la caractéristique de la machine 2, on voit que pour une charge égale à $\frac{ag}{af_2}$ fois la charge normale, la chute de tension serait la même ($ab$), pour les deux machines : et suivant que $ag$ est > ou < $af_2$, la charge admissible correspondant à la même chute de tension, est > ou < pour la machine saturée que pour la machine non saturée.

Si on raisonne, non plus sur les chutes de tension, mais sur les excitations correspondant à une même tension en charge, on a les courbes

---

lera alors les ampère-tours $mi_1$, $mi'_1$ et $mi''_1$ correspondant à la marche à vide sous la tension $U_1$, comme précédemment, et la valeur $\nu_1$, et on écrira

$$\frac{\nu - 1}{\nu_1 - 1} = \frac{i}{i_1}.$$

On déterminera de même $B_{e1}$, $B_{i1}$, $\nu B_{i1}$, et $i''$, ce dernier étant tel que $mi''$ représente les ampère-tours correspondant à une induction $\nu B_{i1}$ dans l'inducteur.

Par suite, la part contributive de l'augmentation d'excitation due aux fuites sera

$$i'' - i''_1,$$

et on recommencera les diagrammes avec la nouvelle valeur de départ

$$i - (i'' - i''_1),$$

dans laquelle on a éliminé ainsi l'augmentation due aux fuites.

de la figure 2. Menons $f_3 g$ parallèle à l'axe des ampères-tours jusqu'en $g$, et par $g$ la droite $ga_1$ parallèle à $af_2$ : $aa_1$ mesure la différence entre les ampères-tours inducteurs nécessaires pour les deux machines : suivant que $a_1$ tombe à gauche ou à droite de $a$, la machine saturée demande une excitation plus forte ou plus faible que la machine non saturée,

A. M.

## MOTEURS

***Influence de la ligne sur la marche des moteurs synchrones***, par **Friedrich Eichberg** (1).

L'auteur étudie les machines synchrones dans lesquelles un enroulement à courants alternatifs, alimenté par des courants de fréquence $f$, tourne à une vitesse $\frac{f}{p}$ t/sec., dans un champ résultant, dû à l'action combinée d'ampère-tours continus provenant d'une source quelconque, et d'ampère-tours alternatifs déwattés, et engendre ainsi une certaine force contre-électromotrice; ce sont les moteurs synchrones et les commutatrices.

Désignons par $e_0$ (fig. 1), la force électromotrice primaire, $e_1$ la force électromotrice induite dans la machine, $e_s$ leur résultante ; c'est l'action de cette force électromotrice $e_s$ qui donne naissance dans le circuit formé du générateur, de la ligne et du moteur, à un courant $i$, décalé par rapport à $e_s$ d'un angle qui dépend de la résistance ohmique et de l'inductance du circuit total.

Supposons d'abord que la force électromotrice $e_1$ est constante, ce qui pour une fréquence donnée revient à supposer constant non pas l'excitation à courant continu, mais le champ résultant, c'est-à-dire la somme algébrique des ampère-tours dus à l'excitation extérieure, et de ceux dus aux courants déwattés, qui sont magnétisants ou démagnétisants, suivant que ces courants sont en retard ou en avance. Cette condition n'est pas

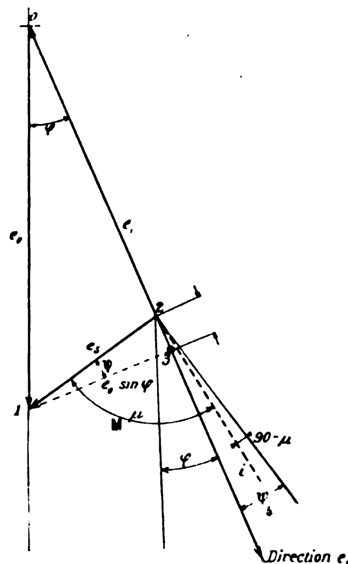



Fig. 1.

remplie en général dans la pratique, aussi reviendrons-nous plus tard sur ce point, pour étudier les résultats de la variation de $e_1$.

Dans le diagramme de la figure 1, nous désignons par $\varphi$ l'angle des vecteurs $e_1$ et $e_0$, par $\lambda = 2\pi f L = L\omega$, l'inductance du circuit total, $r$ sa résistance ohmique, $\operatorname{tg}\mu = \frac{\lambda}{r}$, où $\mu$ est le décalage entre le courant et la force électromotrice résultante $e_s$, $90° - \psi$ l'angle entre $e_1$ et $e_s$, et A la puissance électrique absorbée par la machine synchrone étudiée.

On en déduit facilement la relation (1).

$$A = -\frac{e_1 e_0}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}} \cos(\varphi - \mu) + \frac{e_1^2 \cos \mu}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}.$$

(1) Nous recevons de M. Friedrich Eichberg la lettre suivante :

« Les publications de M. Blondel sur la théorie graphique des moteurs synchrones et les convertisseurs me rappellent quelques travaux sur le même sujet publiés dans les numéros 25 et 27 du *Zeitschrift für Elektrotechnik*, 1900, dans lesquels j'ai donné des diagrammes qui peuvent intéresser les lecteurs de *L'Éclairage Électrique*, même après les publications de M. Blondel.

« *L'Éclairage Électrique* a publié souvent mes travaux et je serais heureux si la publication ci-jointe pouvait être communiquée à vos lecteurs. »

Nous nous empressons d'accéder à ce désir, en donnant ici une analyse de ce mémoire. (N. d. l. R.)

(1) On a en effet

$$A = -e_1 i \cos[\psi - (90_0 - \mu)] \qquad (1)$$

$$\frac{e_0 \cos \varphi - e_1}{e_0 \sin \varphi} = \operatorname{tg} \psi, \qquad (2)$$

$$\frac{e_s}{e_0} = \frac{\sin \varphi}{\sin(90° + \psi)}, \qquad (3)$$

$$i = \frac{e_s}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}. \qquad (4)$$

Combinant (1) et (4), on obtient

$$A = -\frac{e_1 e_s}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}} \sin(\psi - \mu),$$

La représentation géométrique de cette équation est très simple : la seconde partie $\frac{e_1^2 \cos \mu}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$ est indépendante de $\varphi$ et correspond au segment découpé dans un cercle de diamètre $\frac{e_1^2}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$ par

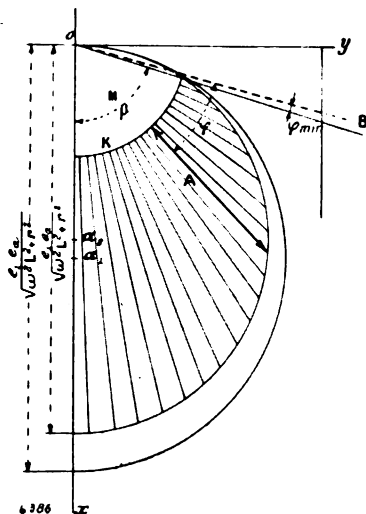


Fig. 2.

un vecteur faisant un angle $\mu$ avec un diamètre; la première partie $\frac{e_1 e_0}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}} \cos(\varphi - \mu)$ correspond de même au segment découpé dans un cercle de diamètre $\frac{e_1 e_0}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$, par un vecteur faisant un angle $\varphi - \mu$ avec un diamètre; de sorte que l'on obtient finalement A (voir le segment renforcé sur la figure 2), comme segment intercepté par une droite faisant avec $ox$ l'angle $(\varphi - \mu)$ entre les deux cercles suivants : 1° un cercle K de centre $o$, passant par le point d'intersection de la droite OB telle que l'angle $xo$B soit égal à $\varphi$, et du cercle de diamètre $\frac{e_1^2}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$ 2° le cercle de diamètre $\frac{e_1 e_0}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$.

---

d'où en éliminant $e_2$ au moyen de (3),

$$A = -\frac{e_1}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}} (e_0 \sin \varphi \operatorname{tg} \psi \cos \mu + e_0 \sin \varphi \sin \mu),$$

et tenant compte de (2), et groupant les termes de cos $(\varphi - \mu)$, on arrive facilement à

$$A = -\frac{e_1 e_0}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}} \cos(\varphi - \mu) + \frac{e_1^2 \cos \mu}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}.$$

Inversement on peut déduire du diagramme les valeurs de $\varphi$ correspondant à diverses valeurs de A. Il existe une valeur minimum de $\varphi$ pour laquelle $A = o$; la puissance maximum, au contraire correspond à $\varphi = \mu$.

Pour montrer maintenant la variation de la puissance absorbée, lorsqu'on a fait varier la résistance ohmique, sans changer l'impédance, nous avons construit (fig. 3), les valeurs de A

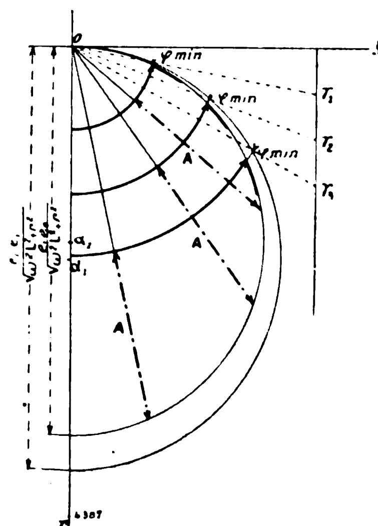


Fig. 3.

correspondant aux trois valeurs $r_1$, $r_2$, $r_3$. On constate sur cette ligne que : 1° le $\varphi$ min. ainsi que le $\varphi$ nécessaire pour l'obtention d'une puissance absorbée A donnée, sont d'autant plus grands que $r$ est plus grand; 2° que pour $\lambda$ négligeable devant $r$, le segment représentatif de A se réduit à un point, et par suite $A_{max.} = A_{min.} = o$.

Si maintenant laissant constante la résistance ohmique, on fait varier l'inductance $\lambda$, on a la figure 4. Alors les diamètres des deux couples de cercles correspondant à deux valeurs $\lambda_1$ et $\lambda_2$ de l'inductance se modifient dans le même rapport que les impédances $R_1 = \sqrt{\lambda_1^2 + r^2}$ et $R_2 = \sqrt{\lambda_2^2 + r^2}$, et on construit immédiatement ces cercles d'après cette remarque; sur la figure 4, on a pris

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

On constate sur cette figure que l'augmentation de l'inductance amène une réduction de la

puissance maximum absorbée, mais que cette réduction est insignifiante.

On peut encore déduire de ce diagramme le

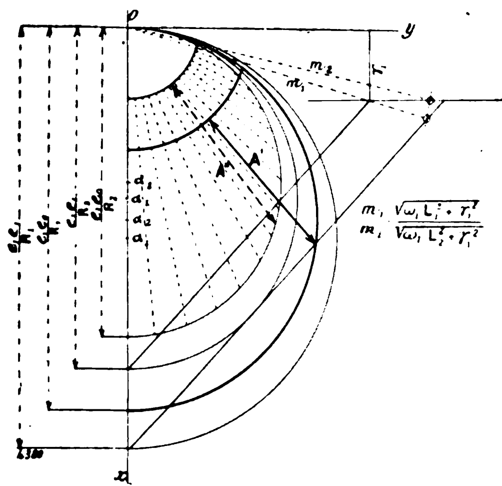


Fig. 4.

travail primaire fourni et le rendement de la ligne.

Le travail primaire fourni est en effet égal à [1] :

$$P = e_0\, i \cos(\varphi + \psi - \mu - 90^\circ) = \frac{e_0^2 \cos \mu}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$$
$$\frac{e_0 e_1}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}} \cos(\varphi + \mu).$$

La construction géométrique de cette expression se fait par un procédé analogue à celui que nous avons employé précédemment (fig. 5), avec les deux mêmes cercles de diamètre $\frac{e_0^2}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$ et $\frac{e_1 e_0}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$ ; on forme $xo\mathrm{B} = \mu$ ; $\mathrm{B}oe = \varphi$ ; le travail primaire P est alors donné par le segment $\mathrm{A}_0 = \mathrm{GH}$, compris entre le cercle $\mathrm{K}_0$ de rayon $\frac{e_0^2 \cos \mu}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$ et le cercle de diamètre $\frac{e_1 e_0}{\sqrt{\lambda^2 + r^2}}$, sur une droite faisant un angle $\varphi + \mu$ avec $ox$.

Le rendement de la ligne est $\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{A}_0}$.

Tous ces résultats sont établis pour le cas d'un champ résultant constant, ou, ce qui revient au même $e_1 =$ constante : dans la pratique il n'en est jamais ainsi, et nous allons étudier ce qui se passe dans le cas général, en tenant compte de l'influence de la ligne sur la valeur du champ résultant.

On décompose ordinairement la chute de tension dans la ligne en deux composantes rectangulaires RJ et λJ ou LωJ ; l'une chute ohmique,

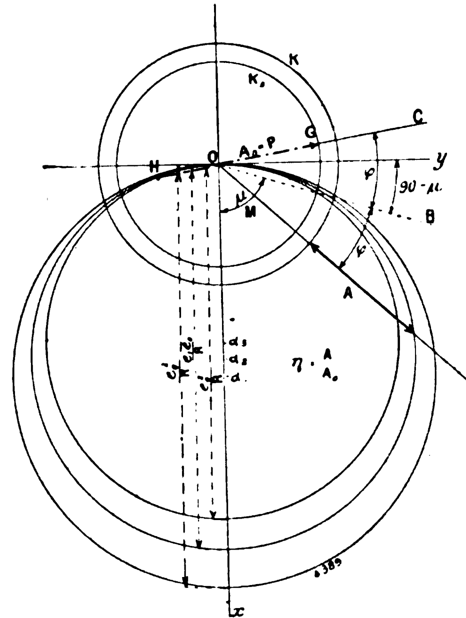



Fig. 5.

l'autre chute inductive : décomposons maintenant chacun de ces vecteurs en deux autres rectangulaires, suivant les directions des courants wattés $i$ et déwattés $i_0$ : on aura ainsi quatre composantes :

$$i\mathrm{R}, \quad i_0\mathrm{R}, \quad i\mathrm{L}\omega, \quad i_0\mathrm{L}\omega.$$

Sur la figure 6, $oe_1$ représente la tension à l'origine de la ligne, RJ la chute ohmique, $oe_2$ la tension à l'arrivée.

Pour une valeur constante du courant watté, le point 3 se déplace sur la droite $xx$ (fig. 7), distante de l'origine de $i\sqrt{\mathrm{L}^2\omega^2 + r^2}$, et faisant avec la direction du courant watté l'angle $90^\circ - \mu$, où $\mathrm{tg}\,\mu = \frac{\mathrm{L}\omega}{r}$.

Pour une direction donnée du courant watté, c'est-à-dire de la force électromotrice de la machine synchrone, et une valeur variable du courant déwatté, l'extrémité du vecteur de la chute de tension se déplace sur la droite $xx$ ; d'autre part le triangle des tensions est complètement défini par cette direction de la force

[1] Après élimination de $i$ et $\psi$ au moyen des équations (1), (3) et (4) de la note 2.

électromotrice, la chute de tension et la grandeur de la force électromotrice de la génératrice, et pour chaque valeur du courant déwatté, on peut déterminer la valeur de la force électromo-

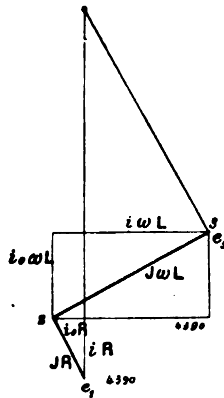


Fig. 6.

trice de la machine synchrone, et par suite son champ résultant, qui se trouvent ainsi tous les deux fonctions de la composante déwattée du courant d'alimentation, et de la chute de ten-

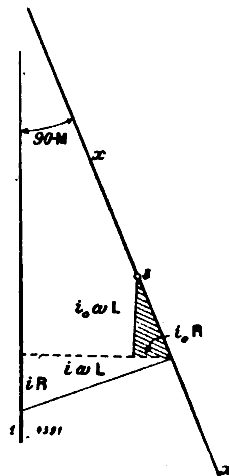


Fig. 7.

sion provoquée par cette composante dans la ligne. La loi qui régit cette action est la suivante :

Pour un courant watté donné, l'appel de courant déwatté sera tel, que la tension aux bornes de la réceptrice synchrone corresponde au champ résultant de la composition des ampère-tours d'excitation à courant continu et des ampère-tours magnétisants ou démagnétisants, suivant le sens, dus à ce courant déwatté.

Or on sait que dans une commutatrice, à $q$ phases, en supposant une répartition sinusoïdale des flux, un courant continu $J_c$ correspond à un courant alternatif efficace $i_{eff}$ par fil de la ligne, suivant la loi

$$J_c = \frac{q\, i_{eff.}}{2\sqrt{2}};$$

et si N désigne le nombre total de fils périphériques, le nombre des ampère-tours actifs de l'armature est

$$\frac{J_c}{2} N \frac{2}{\pi} = \frac{q\, i_{eff.}}{2\sqrt{2}} \frac{N}{\pi}.$$

Nous sommes donc en mesure, par cette formule, de calculer, en négligeant la dispersion, les ampère-tours continus correspondant au courant déwatté, et par suite le champ résultant.

Ceci posé, traçons le diagramme de la machine (fig. 8).

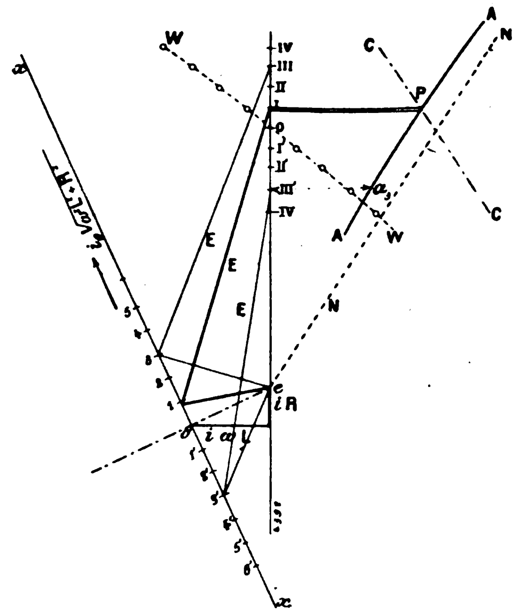


Fig. 8.

Soit $oe$, la force électromotrice ; c'est la direction constante du courant watté ; portons à la suite de $oe$, R$i$ ; puis perpendiculairement L$\omega i$, nous obtenons le point $o'$, $eo'$ correspondant à la chute de tension pour le cas d'un courant déwatté $i_0$ nul ; les chutes de tension $e1$, $e2$, $e3$, et $e1'$, $e2'$, $e3'$, correspondent respectivement à différents courants déwattés, en avance

et en retard; les triangles des tensions sont *oeo'*; I*e*I etc.; les valeurs de la force électromotrice sont données par *eo*, *e*I, *e*I', etc., suivant les cas, et on peut déduire les champs résultants, si on connaît le nombre de spires de l'induit et de l'inducteur, les constantes magnétiques de la machine et en particulier sa courbe du magnétisme ou sa caractéristique à vide : cette dernière courbe tracée en AA, indique le nombre d'ampère-tours nécessaires pour l'obtention d'une force électromotrice donnée : ainsi à une force électromotrice *e*III', correspond à un nombre d'ampère-tours III' $a_3$.

Dans la figure 8, l'excitation est en dérivation; le courant inducteur, et par suite les ampère-tours d'excitation dépendent de la résistance de l'enroulement et du nombre de spires, et sont proportionnels à la tension aux bornes; l'auteur les représente par les segments compris entre les différents points *o*, I. etc., et la droite *e*NN, perpendiculairement à *eo* [1].

La courbe *ww* représente de la même façon, les ampère-tours correspondant aux composantes déwattées du courant; la somme de ces deux courbes donne la courbe *cc* qui coupe la courbe AA en un certain point; ce point est celui pour lequel la somme des ampère-tours de l'inducteur et de l'induit donne bien naissance au champ résultant convenable pour produire la force électromotrice : c'est le point de fonctionnement P; on voit que dans le cas de la figure ce point correspond à un courant déwatté en avance.

Une diminution de la résistance de l'inducteur, amènerait une inclinaison de la droite NN vers la gauche, une augmentation des ampère-tours inducteurs, et par suite une augmentation du nombre des ampère-tours démagnétisants, c'est-à-dire du courant déwatté en avance, et de plus un relèvement de la tension aux bornes : un enroulement compound opère le même résultat dans les commutatrices et relève aussi de la même façon la tension aux bornes (fig. 9). On peut renforcer l'effet en ajoutant à la ligne des bobines de self-induction, ce qui ne présentera pas d'inconvénient, car on a vu qu'une augmentation de l'inductance du circuit total n'occasionnait qu'une très légère diminution de la puissance maximum : pour une inductance donnée du circuit, on pourra déterminer un compoundage tel que cos φ soit égal à 1, pour telle valeur de la charge que l'on voudra.

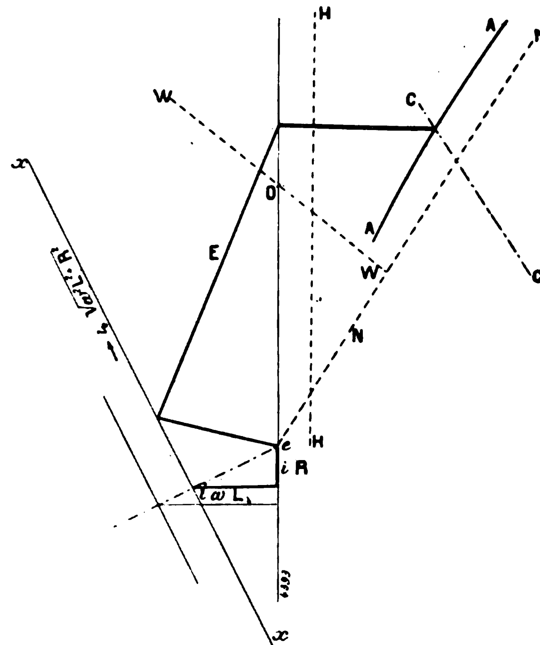



Fig. 9.

Si on vient à modifier le courant watté, la ligne *xx* se déplace parallèlement à elle-même.

Dans certains cas, lorsqu'il s'agit d'une commutatrice devant travailler en parallèle avec une batterie d'accumulateurs, il faut que la tension s'abaisse suffisamment rapidement en même temps que la charge augmente, pour permettre à la batterie de fournir son appoint : on obtient le résultat voulu par un compoundage en sens inverse, avec bobine de self, s'il y a lieu suivant l'inductance du circuit.

En terminant l'auteur dit quelques mots des

[1] Cette façon de procéder est inexacte : les ampères-tours sont proportionnels à la tension aux bornes et non à la force électromotrice; les longueurs *e*I, etc., représentent la force électromotrice de la machine synchrone et non sa tension aux bornes, puisque R et L contiennent les résistances et inductances non seulement de la ligne, mais aussi de la réceptrice; d'ailleurs si R et L ne contenaient pas les constantes de la réceptrice, les *e*I, etc., seraient des tensions aux bornes et non plus des forces électromotrices, et le raisonnement fait sur les champs ne serait plus exact.

Il y a là une erreur, ou tout au moins une approximation risquée; savoir que la résistance et l'inductance de la réceptrice sont négligeables devant celles de la ligne, ou que la chute de tension dans la réceptrice donne lieu à une variation négligeable de l'excitation. N. d. T.

oscillations pendulaires dans les machines synchrones: lorsque le rapport $\frac{L\omega}{r}$ diminue, l'angle qui existe entre la force électromotrice primaire et la force électromotrice du moteur, augmente, par suite, le retard qui se produit lors d'une surcharge est d'autant plus grand que ce rapport est plus petit, et il en est de même de l'oscillation qui tend à naître, et qui, à égale surcharge, sera d'autant plus énergique que $\frac{L\omega}{r}$ sera plus petit.

A. M.

**_Emploi du moteur asynchrone comme moteur synchrone_, par Ernest Danielson**, _Elektrotechnische Zeitschrift_, t, XXII, p. 1065, 26 décembre 1901.

Une des grosses difficultés qui se présentent dans les réseaux à courants polyphasés, est le décalage introduit par la présence de moteurs asynchrones fonctionnant à faible charge. Le remède bien connu à cet état de choses est l'emploi de moteurs synchrones surexcités, mais les moteurs synchrones ne peuvent être employés dans tous les cas, à cause de la nécessité de les faire démarrer à vide, sur poulie folle.

Pour vaincre cette difficulté du démarrage, l'auteur prend un moteur asynchrone, à secondaire triphasé bobiné en étoile, et le fait démarrer comme d'ordinaire. Puis quand le moteur a atteint sa vitesse normale, il le transforme en moteur synchrone, en envoyant un courant continu dans le rotor : le courant continu arrive par une des bagues, et sort par les deux autres bagues, réunies en parallèle.

De cette façon le courant dans une des branches est double de celui qui circule dans chacune des deux autres, et présente la même répartition que les courants triphasés au moment où l'un d'entre eux atteint sa valeur maximum. Si le courant d'excitation est suffisant, le moteur se met au synchronisme.

Cette méthode a été expérimentée sur un moteur asynchrone de 20 chevaux, de l'Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget à Westeräs (Suède), dont les constantes étaient les suivantes :

Tension normale = 390 volts;
Courant magnétisant = 12 ampères;
$$\text{Rapport } \frac{\text{nb. de spires primaires}}{\text{nb. de spires secondaires}} = 2{,}86\,;$$
Intensité primaire normale = 29,5 ampères.

L'auteur estime que pour annuler le décalage dans le primaire, il faut fournir au secondaire autant d'ampères-tours qu'il y en a dans le primaire, soit un courant de

$$29{,}5 \times 2{,}86 \times \sqrt{2} = 120 \text{ ampères},$$

en employant le dispositif précédent. Mais on n'aurait ainsi qu'une marche insuffisamment stable et les essais ont été faits avec un courant continu d'excitation de 150 à 160 ampères Dans ces conditions, le moteur ne se désynchronisait qu'au delà d'une surcharge de 50 p. 100. Il fonctionnait alors comme moteur asynchrone, avec d'importantes fluctuations dans la vitesse et dans le courant secondaire : il fallait alors ramener la charge à la moitié de la valeur normale pour que le moteur revînt au synchronisme : (il commandait par courroie une génératrice à courant continu). En pleine charge, il présentait un décalage en avant, correspondant à un cos $\varphi$ compris entre 0,86 et 0,9.

Dans un pareil moteur, on calcule facilement au moyen des diagrammes ordinaires des moteurs asynchrones, le décalage, la puissance maximum etc., mais on n'arrive pas à déterminer quelle est la charge maximum pour laquelle une excitation donnée amènera le moteur au synchronisme ; le moment d'inertie du moteur et des machines qu'il commande intervient et complique l'étude de la question.

L'auteur estime que cette transformation des moteurs asynchrones est possible dans beaucoup de cas et serait susceptible de rendre de nombreux services, étant donnée la facilité de démarrage en pleine charge, jointe à une grande sécurité de fonctionnement, puisque si le moteur se désynchronise, il ne s'arrête pas, mais continue à travailler comme moteur asynchrone [1].

A. M.

[1] L'énorme valeur du courant d'excitation nécessaire nous paraît devoir être un obstacle dans beaucoup de cas : ainsi dans le moteur essayé par l'auteur, lorsqu'il fonctionne comme moteur asynchrone, le rotor est parcouru par un courant approximativement égal à

$$29{,}5 \times 0{,}9 \times 2{,}86 = 75 \text{ ampères environ.}$$

Il faut donc que le rotor ait été largement calculé pour qu'il puisse dans la marche en moteur synchrone, supporter le double de courant sans chauffer outre mesure. — (N. d. T.)

***Remarques sur l'emploi du moteur asynchrone comme moteur synchrone,*** par **F. Eichbert**, *Electrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 57, 16 janvier 1902.

L'auteur a expérimenté le procédé indiqué par Danielson, quinze jours avant sa publication, sur un moteur de 7,5 chevaux; et il fait différentes remarques sur son application. Il montre en particulier que si on désigne par $e_0$ la tension aux bornes, $e_1$ la force électromotrice du moteur si on prend $e_0 = e_1$, on n'a guère comme couple maximum du moteur synchrone que le tiers du couple normal du moteur asynchrone [1]; en prenant pour courant d'excitation une valeur telle que le nombre d'ampères-tours continus soit égal au nombre des ampères-tours alternatifs, on arrive à obtenir un couple maximum synchrone égal au couple normal asynchrone.

En terminant, l'auteur indique pour l'utilisation du circuit triphasé du rotor, deux montages qu'il préfère à celui de M. Danielson.

A. M.

***Application du calcul au diagramme des moteurs triphasés,*** par **Oskar Weisshaar.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 943, 14 novembre 1901.

L'auteur parle du diagramme bien connu des moteurs à champ tournant, établi par M. Blondel [1], et en déduit par le calcul des formules donnant les valeurs des différentes variables qui se présentent dans les moteurs asynchrones : ces formules sont analogues à celles qu'a établies M. Blondel, et n'en diffèrent guère que par les notations et par la suppression des facteurs $K_1$ et $K_2$ qui dans les travaux de ce dernier tenaient compte de la forme et de la nature des bobines au point de vue de la production du flux.

Il nous paraît donc inutile de reproduire ici ces calculs intéressants mais déjà connus de nos lecteurs; nous nous contenterons de signaler des formules données par l'auteur pour le calcul des coefficients de dispersion dans ces moteurs, formules dues à M. le Dr Niethammer et qui, d'après l'auteur, donnent des résultats satisfaisants dans la pratique.

Si on désigne par $\nu_1$, le coefficient de dispersion du primaire (connu sous le nom de coefficient d'Hopkinson), c'est-à-dire le rapport entre le flux total engendré dans le primaire et la partie de ce flux qui traverse le secondaire, on a, en se rapportant aux données de la figure 1,

$$\nu_1 = 1 + \tau_1$$

$$\nu_1 = 1 + \frac{4\delta}{\frac{3}{2}(q_1 k_1 + q_2 k_2)}\left[\frac{h_1 - b_1}{q_1 b_1} + \frac{1}{0{,}905\, q_1} + \frac{e_1}{d_1} + \frac{2\delta}{\frac{3}{2}(q_1 s_1 + q_2 s_2)}\right],$$

$q_1$ et $q_2$ représentant le nombre de dents par pôle et par phase du primaire et du secondaire; le facteur $0{,}905\, b_1$ représente la corde du demi-cercle terminant l'encoche, qui passe par le centre de gravité de la surface du demi-cercle, parallèlement à l'entrefer.

On obtient $\nu_2$, coefficient d'Hopkinson du secondaire, en permutant partout les indices 1 et 2.

---

[1] Si on se reporte à la communication de M. Eichberg dans le *Zeitschrift für Elektrotechnik*, année 1900, nº 25, analysée ci-dessus sur les moteurs synchrones, on voit que la puissance d'unmoteur synchrone est représentée par l'expression

$$A = -\frac{e_1 e_0}{\sqrt{\lambda^2\omega^2 + r^2}}\cos(\varphi - \mu) + \frac{e_1^2}{\sqrt{\lambda^2\omega^2 + r^2}}\cos\mu \qquad (1)$$

dans laquelle $\varphi$ est le décalage entre $e_1$ et $e_0$, $\sqrt{r^2 + \lambda^2\omega^2}$ l'impédance totale $\operatorname{tg}\mu = \frac{\lambda\omega}{r}$; et d'ailleurs le courant magnétisant $i_\mu$ est donné par

$$i_\mu = \frac{e_1}{\sqrt{\lambda^2\omega^2 + r^2}}.$$

Le diagramme représentatif de la formule (1), est donné par la figure 3 de l'analyse ci-dessus : à un couple A correspond un angle $\varphi$, entre $e_0$ et $e_1$ et A est maximum pour $\varphi = \mu$.

Pour $e_0 = e_1$, et un circuit magnétique ordinaire de moteur asynchrone, on trouve que le couple maximum synchrone est le 1/3 du couple normal du moteur asynchrone : pour augmenter le couple maximum, il faut ou diminuer l'impédance, en augmentant l'entrefer, ou augmenter $e_1$ en forçant l'excitation, ce qu'a fait M. Danielson.

---

[1] Voir :

1º Propriétés générales des champs magnétiques tournants, par M. Blondel, *Lumière Électrique*, année 1893, et *Éclairage Électrique*, année 1894.

2º Du rôle des fuites magnétiques dans les moteurs à champ tournant, par M. Blondel, *Éclairage Électrique* octobre, novembre et décembre 1895.

3º Théorie graphique des moteurs polyphasés, par M. Blondel, *Industrie Électrique*, 25 février 1896.

Ces expressions se rapportent à des enroulements en barres, dans lesquels on peut négliger

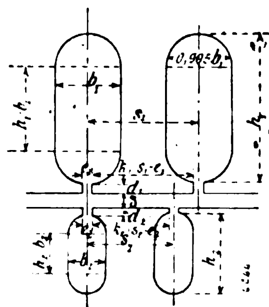


Fig. 1.

la dispersion latérale; si le rotor seul est enroulé en barres, et que le stator comporte un

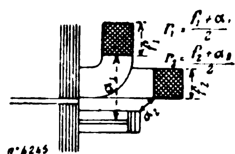


Fig. 2.

enroulement en bobines, on ajoutera à $\nu_1$ un terme complémentaire $\tau'_1$ donné par la formule

$$\tau'_1 = \frac{4\,\delta}{\frac{3}{2}\,(q_1 k_1 + q_2 k_2)\,l}\;\frac{(\alpha_1 + \alpha_2)\,\beta}{\pi\,(r_1 + r_2)},$$

où $\beta$ est l'arc polaire $\left(\frac{\pi D}{2p}\right)$, $l$ la longueur du fer du rotor, abstraction faite des canaux de ventilation, et les autres grandeurs sont définies par la figure 2. A. M.

***Premiers résultats d'essais du moteur asynchrone compensé,*** par **A. Heyland**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 28, 9 janvier 1902.

L'auteur rapporte les premiers résultats d'essais effectués par la Vereinigte Electricitäts Aktien Gesellschaft sur un moteur construit par cette maison, d'après les principes indiqués par l'auteur [1]. C'est un moteur triphasé normal de 12 chevaux, 6 pôles, 1000 t : m, à la fréquence 50, et bobiné pour 330 volts; il est représenté dans les figures 1, 2 et 3.

Dans les essais, ce moteur a été utilisé comme moteur monophasé, en prenant deux branches en série; la troisième branche servait à fournir l'excitation, et était séparée du reste de l'enroulement, suivant le schéma de la figure 4. On pouvait ainsi, en montant en série ou en parallèle les différentes spires de cette branche, obtenir les tensions et les courants les plus divers, et arriver à un réglage parfait de la compensation.

L'armature (fig. 3) est formée par un enroulement série à courant continu, à 71 encoches et 2 barres par encoche : elle est reliée à un petit collecteur, dont les lamelles sont réunies entre elles par des lames disposées radialement autour du collecteur, et formant des résistances électriques faibles et non inductives : cette disposition permet l'emploi des enroulements modernes fermés à barres. L'armature a tous les caractères de la cage d'écureuil, et se prête à l'étouffement parfait des pulsations du champ inducteur et à la suppression complète des étincelles aux balais : dans le moteur en essai, le courant a été poussé très loin, et il a été impossible de faire apparaître la moindre étincelle sous les balais, si bien qu'il paraît certain qu'on pourra réduire notablement le nombre de lames du collecteur.

Le courant d'excitation, pris sur la troisième branche, était amené au collecteur par des balais calés suivant un diamètre : le champ inducteur était ainsi pulsatoire, mais les pulsations étaient étouffées complètement par l'enroulement, fermé sur lui-même, du collecteur. Il n'en résultait comme inconvénient qu'un décalage (non mesuré) entre le courant d'excitation et la tension aux balais, et une augmentation de la tension et du courant, qui étaient respectivement 2 volts et 200 ampères : mais, d'autre part, on avait ainsi toute facilité pour régler le courant d'excitation.

L'excitation par courants triphasés ou polyphasés demanderait environ la moitié seulement : elle est d'ailleurs applicable aussi bien aux moteurs monophasés qu'aux moteurs polyphasés : pour les petits moteurs, l'enroulement excitateur peut être placé dans les mêmes encoches que l'enroulement principal, pour les grosses machines, il y a intérêt à employer un petit transformateur, d'une puissance de 1 à 2 p. 100 de la machine, branché aux bornes principales.

(1) Cf. *ETZ*, 8 août 1901, p. 633; *L'Industrie Électrique*, 10 septembre 1901, p. 389; *L'Éclairage Électrique*, 16 octobre 1901, p. 113.

Dans les essais, on a commencé par fixer la position des balais correspondant à une différence de phase minimum, puis le nombre des spires à employer pour l'annuler complètement : on n'a pas eu besoin de résistances, mais on parachevait le réglage par un petit déplacement des balais.

Les courbes I, II et III donnent respectivement (fig. 5) le rendement, le cos $\varphi$ et le courant primaire dans le moteur fonctionnant sans compensation ; courant à vide = 15 ampères ; cos $\varphi$ maximum = 0,75 ; la courbe IV donne le courant dans le moteur compensé ; alors cos $\varphi$ = 1, et le courant à vide est seulement 3 amp.

*Essai comme générateur.* — Employée comme génératrice, cette machine présente toutes les

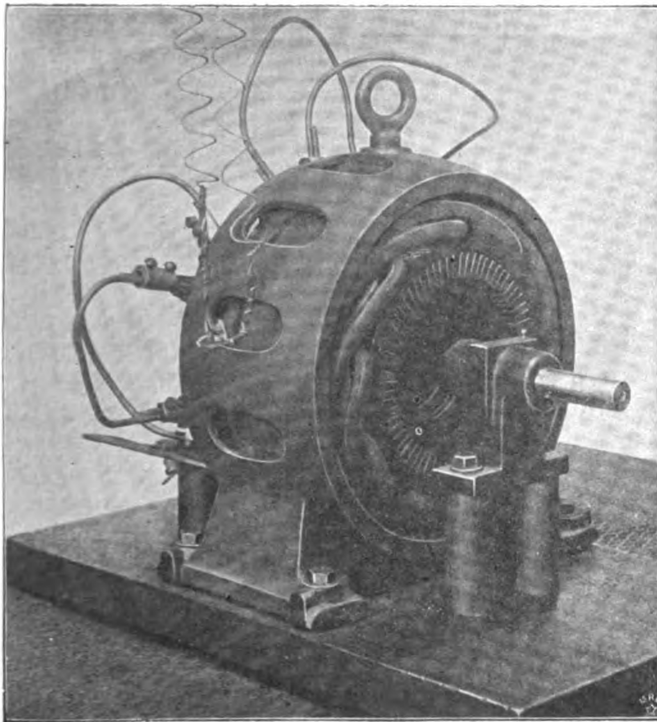


Fig. 1.

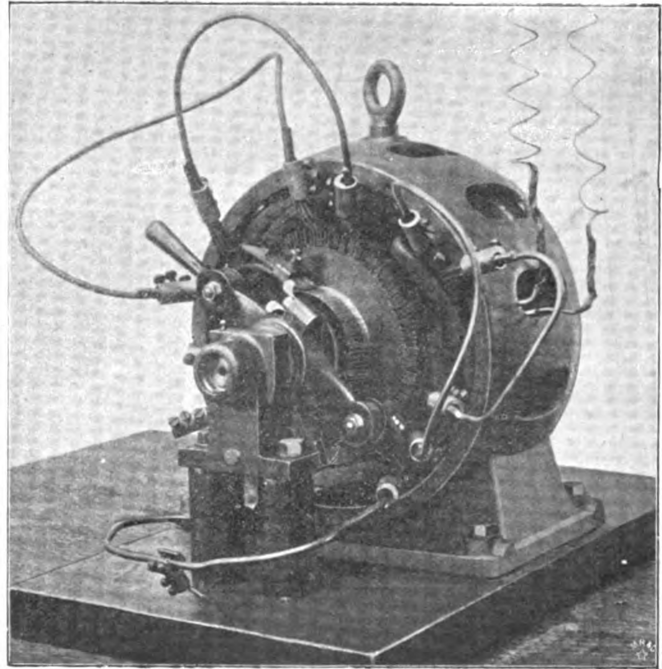


Fig. 2.

propriétés caractéristiques de la dynamo shunt à courant continu.

Dans les premiers essais, l'orsqu'on l'abandonnait à elle-même, après l'avoir séparée du réseau, elle perdait aussitôt sa tension. Or, c'est un fait connu que, dans les dynamos shunt, il y a une vitesse critique, au-dessous de laquelle l'amorçage ne se produit pas ; cette vitesse critique est d'ailleurs d'autant plus faible que la machine est plus saturée.

La courbe représentative de la tension en fonction de la vitesse est une droite, dont le prolongement coupe l'axe des vitesses en un point qui est la vitesse critique (fig. 6) : l'action du magnétisme rémanent est représentée par la courbe en pointillé.

Dans le générateur en question, il n'y a pas de pôle fixe, et, par suite, pas de magnétisme rémanent : la droite coupe alors réellement l'axe des abscisses. De plus, la saturation étant très faible, la vitesse critique est grande et se trouve supérieure à 1000 t : m, vitesse de fonctionnement du moteur asynchrone. En élevant la vitesse à 1300 t : m, on a constaté que le générateur restait amorcé, et que même sa tension s'élevait après la séparation du réseau. Il en résulte que, pour fonctionner comme générateur à la même vitesse, le moteur doit être surcompensé ; et, autant que possible, être plus saturé que d'ordinaire ; il faut d'ailleurs, puisqu'il n'y a pas de magnétisme rémanent, l'amorcer extérieurement soit en le mettant en commu-

nication avec le réseau, soit en y envoyant un courant alternatif produit par une source quel-

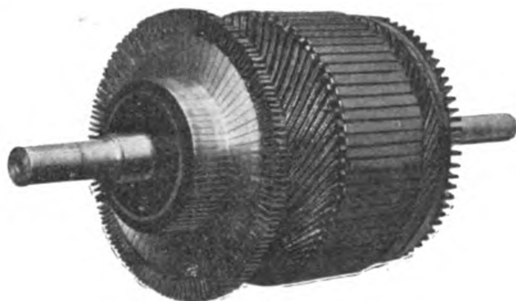


Fig. 3.

conque, même très faible, telle qu'un appareil à main (inducteur Siemens, etc.).

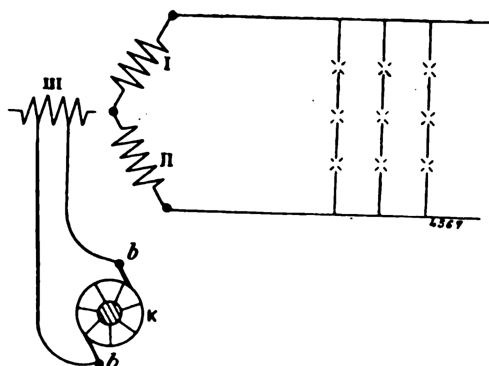



Fig. 4.

Finalement, on a fait débiter le moteur sur un rhéostat formé de lampes à incandescence, groupées par 3 en série (330 volts), à peu près à 1/4 de charge ; dans ces conditions, la chute

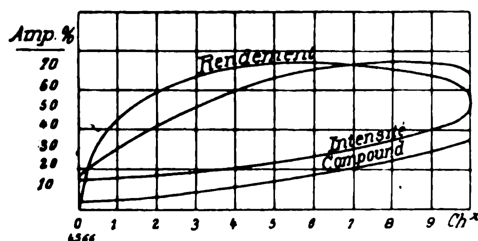



Fig. 5.

de tension était de 2 p. 100, malgré un entrefer de 0,5 mm sur le rayon et un rapport des ampère-tours de l'induit aux ampère-tours du champ égal à 0,6, ce qui montre bien l'absence de réaction transversale pour les charges non inductives (²) ; la chute de tension n'est due qu'à la dispersion.

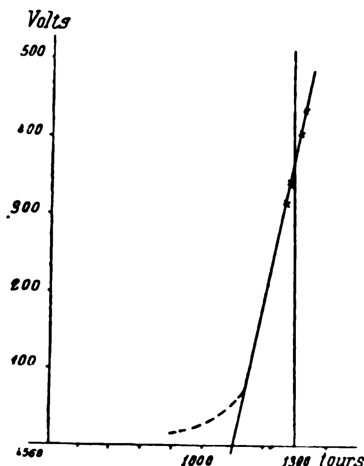



Fig. 6.

On peut compter sur une chute de tension de 8 p. 100 en pleine charge, et point n'est besoin de rhéostat d'excitation : il suffit d'agir sur le calage des balais pour compenser cette faible chute.

L'auteur indique en terminant que ce générateur asynchrone pourra rendre de grands services au point de vue économique, en permettant de remplacer un alternateur et son excitatrice (cette dernière représentant une partie sensible de la dépense), par une seule machine, à peine plus compliquée qu'un moteur asynchrone ordinaire. A. M.

***Mesure et calcul des pertes à vide dans les moteurs asynchrones***, par le Dr **Benischke**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 698, 29 août 1901.

La méthode indiquée par le Dr Benischke, pour la séparation des pertes à vide dans les moteurs asynchrones est basée sur le procédé stroboscopique qu'il a déjà indiqué pour la mesure du glissement (²). Comme celui-ci est proportionnel à la charge pour les puissances voisines de la marche à vide, la courbe des glissements depuis la marche à vide jusqu'à

(¹) Voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 1022, 12 décembre 1901 et *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 313.

(²) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1899, p. 152. Voir aussi, *Ecl. Elect.*, t. XXIX, p. 27, 5 octobre 1901, une note plus récente de M. Benischke sur le même sujet.

une petite charge est une droite. Si on prolonge cette droite jusqu'à son point de rencontre avec l'axe des abscisses, le segment de cet axe, compris entre l'origine et l'intersection, est égal à la puissance à vide, c'est-à-dire aux pertes par frottement et par ventilation. La figure 1 représente ce diagramme pour un moteur de 2 chevaux et pour les fréquences 40, 50, 60, avec même induction, c'est-à-dire le voltage aux bornes étant proportionnel à la puissance. On voit que les pertes par ventilation et par frotte-

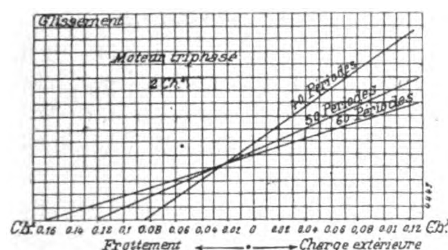



Fig. 1.

ment sont respectivement égales à 0,084, 0,121 et 0,160 chevaux. Le frottement augmente avec la fréquence, mais non le glissement à vide. Ce dernier est à peu près inversement proportionnel au frottement et à la fréquence. Cela tient à ce que le couple varie avec la fréquence, malgré la constance de l'induction. La relation entre le glissement, le couple et la fréquence dépend beaucoup de la nature du moteur. Ainsi, dans un second moteur de 7,5 chevaux, représenté par la figure 2, le glissement à vide pour les diverses fréquences est à peu près le même.

Pour arriver à un résultat satisfaisant dans ces essais, il faut prendre certaines précautions. D'abord, les paliers du moteur doivent être arrivés à un régime stable, c'est-à-dire une température constante et un graissage régulier. Dans ce but, on laissera tourner le moteur de 1 à 5 heures, suivant la grandeur. En outre, il faut remarquer qu'un frein ordinaire est trop peu précis pour ces faibles charges. Le meilleur frein est constitué par un morceau de courroie frottant par sa partie lisse. Pour éviter la chute de la courroie, on coud transversalement sur la surface extérieure, des bandes minces de tôle. En réglant convenablement les poids aux extrémités de la courroie, on peut immobiliser celle-ci pendant quelques minutes. Sinon on choisira une autre courroie plus dure ou plus molle.

Le disque stroboscopique est facile à coller sur la poulie. Pour l'éclairer, on emploiera, de préférence, une lampe à arc qui permet d'opérer en plein jour. Si l'on emploie une lampe à

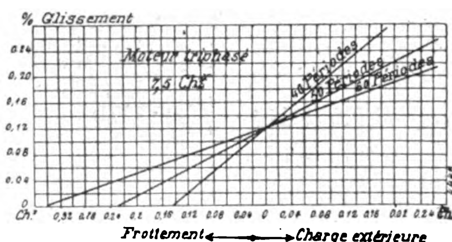



Fig. 2.

incandescence de 25 ou 32 bougies, il faut opérer dans l'obscurité et encore l'apparition stroboscopique est assez faible.

Le tableau suivant, qui se rapporte à la droite médiane de la figure 1, montre la grande précision de cette méthode.

| VOLTAGE | FRÉQUENCE | GLISSEMENT (p. 100) | CHARGE extérieure. |
|---|---|---|---|
| 66,3 | 50,1 | 0,531 | 0,120 |
| 66,4 | 50,2 | 0,527 | 0,121 |
| 66,6 | 50,3 | 0,404 | 0,0636 |
| 66,4 | 50,2 | 0,406 | 0,0635 |
| 66,4 | 50 | 0,266 | Marche à vide |
| 66,4 | 50,1 | 0,267 | |

Ayant déterminé, de cette manière, le frottement d'un moteur et mesuré la consommation en watts à vide, la différence de ces valeurs donne la perte dans le fer. La séparation des pertes à vide peut être ainsi faite sans difficulté. Le tableau suivant et les figures 3 et 4 donnent les pertes à vide des deux moteurs précédents.

Dans chaque figure, *a* représente la partie en watts à vide, *b* les frottements en watts. La différence *c* représente les pertes dans le fer, *d* représente la perte en watts, le moteur étant arrêté et le circuit du rotor ouvert. Les mesures ont été faites avec les instruments de précision à courant alternatif de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft. La ligne *e* représente la consommation en watts lorsque le moteur, étant en

marche, on rompt brusquement le court-circuit de l'induit. Enfin, sur la dernière ligne du tableau, figurent les valeurs, que l'on considérait jusqu'ici comme les pertes par frottement d'un moteur et que l'on obtenait en prenant la perte à vide pour diverses tensions allant en

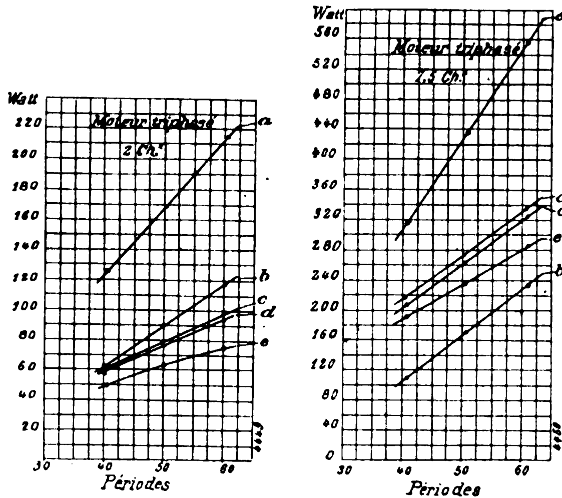



Fig. 3 et 4.

*a*, Pertes à vide ; *b*, Frottement ; $c = a - b$, Pertes dans le fer ; *d*, Pertes à l'arrêt, le circuit du rotor étant ouvert ; *e*, Pertes à vide, le circuit du rotor ouvert.

décroissant, jusqu'à ce que le moteur s'arrête : la courbe des watts ainsi trouvée était prolongée jusqu'à l'axe des abscisses, ce qui donnait la perte en watts par frottements. Dans toutes ces mesures, les pertes dans le cuivre sont retranchées.

| | MOTEURS de 2 chx. | MOTEURS de 7,5 chx. |
|---|---|---|
| Fréquence | 50 | 50,3 |
| Perte à vide | 168,7 | 430 |
| Frottements | 89,1 | 168,5 |
| Perte dans le fer à vide | 79,6 | 261,5 |
| Perte dans le fer à l'arrêt | 76,8 | 262 |
| Perte dans le fer à circuit induit ouvert | 62,7 | 234 |
| Frottements déduits de la courbe des watts | 48 | 151 |

On voit ainsi que la perte réelle par frottement est plus grande que la perte trouvée par ce dernier procédé, ce qu'il faut probablement attribuer à une petite excentricité de l'induit provoquant des frottements exagérés par dissymétrie du champ. — On remarque, en outre, que les pertes dans le fer en marche *c* et à l'arrêt *d* ne sont pas très différentes. On ne peut donc pas admettre, comme on le fait souvent, que, dans la marche à vide, les pertes dans le rotor sont à peu près nulles en raison de sa vitesse sensiblement synchrone. Cette hypothèse est inadmissible, car, d'une part, comme l'ont remarqué Dettmar et Görges, il se produit des variations magnétiques de très haute fréquence aux extrémités des dents ; d'autre part, le champ, même avec une tension sinusoïdale, n'est pas *tournant*, mais *pulsateur*. (Pour avoir un champ rigoureusement tournant, il faudrait un nombre de dents infini). Il en résulte que, même au synchronisme, il y a dans le rotor un champ magnétique non négligeable de même fréquence que le courant.

Il est difficile de tenir compte de ces particularités dans le calcul, mais, même lorsqu'on les estime largement, elles ne suffisent pas à faire concorder le calcul avec l'expérience. On a expliqué cette différence par l'excentricité de l'induit. Mais il est facile de voir qu'il n'en est rien. Si en effet on mesure la perte en watts du moteur arrêté, d'une part l'induit reposant sur ses coussinets, d'autre part les paliers étant enlevés et l'induit reposant sur le stator par l'intermédiaire d'une feuille de papier, on trouve pour le moteur de 7,5 chevaux une différence moindre que 10 p. 100. Et, cependant, dans le second cas, l'excentricité était telle que l'entrefer supérieur était huit fois plus grand que l'entrefer inférieur. Donc, l'excentricité admissible d'un moteur n'influe pas sur les pertes dans le fer.

On explique beaucoup mieux la non-concordance entre le calcul et l'expérience, en considérant les pertes dans le fer à l'arrêt. La discordance se reproduit encore là, quoique les causes précédentes ne puissent plus se produire. Mais, dans ce cas, le calcul ne présente plus de difficulté, car le rotor est traversé par un flux sensiblement égal à celui du stator. Mais il faut se garder de considérer l'induction comme uniforme dans la culasse du rotor et du stator. A la sortie des dents, l'induction est au moins égale et même supérieure à la valeur qu'elle a dans les dents (par suite de la courbure des lignes de force). Par contre, dans la partie extérieure de la culasse, l'induction est très faible.

La perte dans le fer est donc bien plus élevée que si l'induction était uniforme.

A cela vient s'ajouter une particularité dont on n'a jamais tenu compte jusqu'à présent. Les pertes dans le fer sont calculées d'après des constantes déduites des essais de fer et applicables aux transformateurs. Or les tôles des moteurs sont profondément poinçonnées, ce qui les rend plus mauvaises au point de vue de l'hystérésis. En outre, afin de supprimer les bavures qui se produisent lors du poinçonnage, on comprime souvent les tôles sous une presse où elles reçoivent un coup sec qui augmente aussi le coefficient d'hystérésis. En dernier lieu, les armatures des encoches sont pratiquées, non pas par la poinçonneuse, mais à la fraise, après assemblage des tôles. Toutes ces circonstances contribuent à augmenter sensiblement le coefficient d'hystérésis.

Pour mettre ce fait en évidence, l'auteur a réalisé l'essai suivant : on a commencé par mesurer l'hystérésis d'un paquet de tôles; puis chaque tôle a été découpée en 5 bandes, et l'on a remis le paquet dans l'hystérésimètre. On a trouvé une augmentation de 6,3 p. 100 pour la constante de Steinmetz. Comme les tôles des moteurs sont encore bien plus sectionnées, on peut admettre une augmentation de l'hystérésis dans les dents au moins trois fois plus grande.

Si l'on admet alors que le poinçonnage altère les tôles sur une profondeur de 0,5 mm à partir du bord, on trouve que, dans un moteur de 2 chevaux, les pertes dans les dents sont accrues de 29 p. 100. Tenant compte des deux circonstances précédentes, savoir l'induction irrégulière et l'augmentation de pertes dans le fer, on trouve que les pertes dans le fer du moteur de 2 chevaux atteignent 68 watts pour 50 périodes, tandis que la mesure indique 76,8 watts. Pour le moteur de 7 chevaux, le calcul donne 235 watts et la mesure 272 watts. Les différences qui subsistent pourront s'expliquer par ce fait qu'un certain nombre de lignes de force pénètrent dans le bâti en fonte et non lamellé.

Comment les phénomènes précédents sont-ils modifiés lorsque le moteur marche à vide? La répartition irrégulière des lignes de force ainsi que l'augmentation de pertes dans les dents subsistent. Par contre, la fréquence du champ dans le rotor est devenue beaucoup plus faible. cependant, les pertes ne sont pas nulles à cause des pulsations du champ. A ces pertes viennent s'ajouter les variations du champ de très grande fréquence aux extrémités des dents du stator et du rotor et la mesure a montré que les pertes dans le fer à l'arrêt et en marche ne sont pas très différentes, il en résulte que l'augmentation de pertes due aux variations dans les dents, compense à peu près la diminution des pertes dans le rotor. Donc, les pertes dans le fer à l'arrêt représentent à peu près les pertes dans le fer à vide.

La consommation en watts d'un moteur mesurée immédiatement après rupture du court-circuit (le moteur tournant alors à une vitesse sensiblement égale à celle de la marche à vide) est beaucoup plus petite que la perte en watts à vide (fig. 3 et 4). Ce résultat semble surprenant, car on s'attendrait à trouver que les deux chiffres sont presque égaux. On a quelquefois proposé de prendre cette valeur comme la vraie perte dans le fer à vide : Nissink fait la même mesure en actionnant le moteur asynchrone au moyen d'un moteur synchrone et en mesurant au wattmètre les pertes dans le stator du moteur asynchrone. Cette méthode n'est pas irréprochable, car on ne sait pas si la commande synchrone ne fournit pas au moteur asynchrone une certaine quantité d'énergie, que le wattmètre ne mesurerait pas. Cela est parfaitement possible, même à rotor ouvert, par suite de l'hystérésis du fer. D'une façon analogue, lorsqu'on ouvre le court-circuit d'un moteur tournant à vide, une certaine quantité d'énergie peut être renvoyée au réseau par la force vive du rotor. Cette énergie vient en défalcation de celle que le stator consomme. On ne peut pas donner d'autre explication rationnelle de la diminution des watts lorsqu'on ouvre le circuit du rotor.

Pour la même raison, on ne peut pas considérer comme parfaite la méthode qui consiste à mesurer le frottement en laissant le moteur courir sur son erre. La force vive est absorbée non seulement par le frottement mais encore par un freinage magnétique. D'autre part, si on répète la même mesure en interrompant le courant dans le stator, on supprime les attractions magnétiques qui tendent à augmenter les pertes par frottement. En pratique, on peut cependant employer cette méthode, car le frottement

dépend tellement de la température et du graissage qu'une détermination précise est le plus souvent sans objet.

E. Beutom.

## MAGNÉTISME

***Aimantation permanente de quelques sortes d'aciers spéciaux***, par **A. Abt**. *Dr. Ann.*, t. VI., p. 774-793, déc. 1901.

L'ensemble des échantillons étudiés comprend 44 barreaux, en sept qualités d'acier provenant d'une forge hongroise. Ces barreaux, sont à section carrée, de 1,4 cm de côté, de 10 ou de 14,6 cm de longueur. Ils se groupent comme il suit :

20 barreaux d'acier au carbone ; un court et un long de chacune des 10 sortes :

2 barreaux d'acier au manganèse ;
6 — d'acier au manganèse à teneur élevée ;
6 — d'acier au chrome ;
6 — d'acier au tungstène ;
2 — d'acier au chrome et au nickel ;
2 — d'acier au nickel.

Ces barreaux sont placés dans une bobine magnétisante portant 671 spires sur 27,25 cm et leur moment est mesuré par la méthode magnétométrique, l'intensité du courant magnétisant varie entre 1,3 et 24,0 ampères.

En désignant par M le moment magnétique et par I l'intensité du courant magnétisant, on trouve que :

1° Le rapport $\frac{M}{I}$ augmente jusqu'à une certaine valeur de I, puis décroît ensuite indéfiniment ; le moment magnétique tend donc vers une valeur limite quand on augmente le courant magnétisant ; pour la plupart des barreaux cette limite est atteinte ou bien près de l'être quand l'intensité du courant est de 20 ampères. Les aciers fortement manganifères atteignent déjà à 10 ampères leur moment magnétique maximum.

2° C'est l'acier au chrome et nickel qui a acquis le moment permanent le plus grand, l'acier fortement manganifère qui a acquis le plus petit.

En les rangeant dans l'ordre des moments décroissants on trouve : l'acier au chrome et nickel, l'acier au chrome, l'acier au nickel, le deuxième échantillon d'acier chromé, l'un des aciers au carbone, l'acier au tungstène, etc.

Un acier à faible teneur de manganèse a atteint presque le même moment qu'un acier chromé (73), tandis que l'acier à teneur élevée atteint seulement 6 ; l'un de ces derniers ne garde même pas trace d'aimantation permanente.

3° L'intensité d'aimantation est plus grande dans les barreaux longs que dans les barreaux courts.

La désaimantation dans un champ de sens opposé se poursuit régulièrement et les courbes d'aimantation et de désaimantation n'ont qu'un seul point d'inflexion. Jusqu'à ce point la variation du moment est plus rapide que celle du champ magnétisant et au delà c'est l'inverse. L'intensité du champ à laquelle correspond ce point varie d'un échantillon à l'autre.

Le champ de sens contraire nécessaire pour faire disparaître la polarité magnétique est Si on plus faible que le champ magnétisant primitif. le fait croître au delà de cette valeur, l'aimantation de sens contraire tend à peu près vers la même limite que la première.

L'acier Remy au tungstène acquiert une intensité d'aimantation permanente environ quatre fois plus grande que celle de l'acier au tungstène hongrois.

La limonite $(Fe^2O^3)^2, 3H^2O$ est suffisamment magnétique pour s'orienter dans le champ d'un électro-aimant même assez faible ; mais ne prend pas d'aimantation permanente appréciable.

M. L.

---

*Le Gérant :* C. NAUD.

Tome XXXI. Samedi 12 Avril 1902. 9e Année. — N° 15.

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## NOUVEAUX OSCILLOGRAPHES

### POUR L'INSCRIPTION DES COURBES PÉRIODIQUES DES COURANTS ALTERNATIFS

Depuis longtemps, on s'est préoccupé de trouver des méthodes pour inscrire et analyser les variations très rapides des courants électriques. L'étude de ces variations présente en effet aujourd'hui une importance de premier ordre, surtout pour l'étude des courants alternatifs, dans les laboratoires aussi bien que dans l'industrie.

Les méthodes employées pour ces recherches sont de deux espèces : les méthodes *indirectes* ou méthodes par points et les méthodes *directes*.

Les méthodes indirectes, dont l'idée et la première application (1881) remontent à M. Joubert, ont été l'objet de nombreuses applications sous des formes variées, qu'il serait trop long de passer ici en revue. On me permettra seulement, aujourd'hui qu'un regain d'intérêt s'attache à ces méthodes, de rappeler en passant, avec un excusable amour-propre d'auteur, que j'ai été le premier à employer l'enregistrement stroboscopique automatique des courbes, il y a dix ans, et à en analyser les conditions d'exactitude théorique [1].

Comme, à cette époque, il n'existait pas de galvanomètres enregistreurs du type d'Arsonval, j'avais recours à la photographie, qui permettait d'ailleurs avantageusement l'obtention de courbes à grande échelle, et l'inscription simultanée de plusieurs courbes sur les mêmes ordonnées. La figure 1 reproduit à une échelle réduite au tiers un exemplaire de ces courbes.

Quand MM. Chauvin et Arnoux construisirent leurs voltmètres et ampèremètres enregistreurs, la pensée me vint aussitôt, comme il est facile de le comprendre, de les utiliser au lieu de la photographie, et je préparai les dessins d'un enregistreur de ce genre mû par moteur synchrone ;

[1] *La Lumière Électrique*, août 1891 et septembre 1893.

**

mais je renonçai à l'exécuter, en réfléchissant aux défauts de la méthode indirecte (1), qui rendaient préférable la recherche de l'oscillographie directe ; je ferai connaître un jour un appareil de ce genre plus perfectionné.

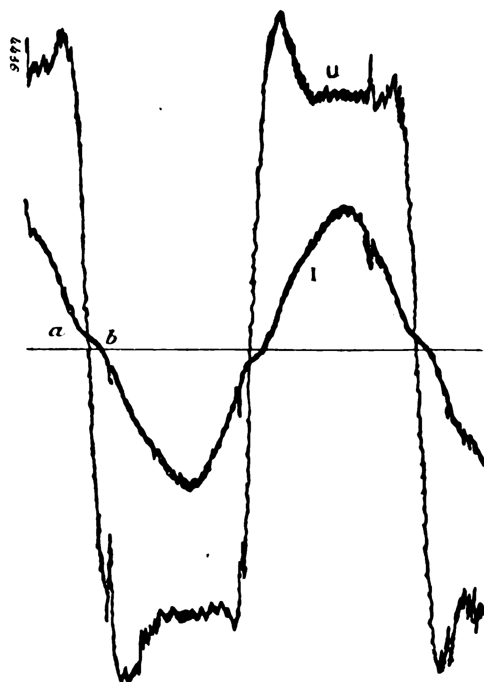



Fig. 1. — Courbes photographiques relevées par le traceur de courbes automatique stroboscopique de l'auteur en 1892. (1/3 grandeur)

U, courbe de la différence de potentiel aux bornes d'une lampe à arc électrique alternative ; I, courbe de l'intensité de courant correspondante.

D'autres chercheurs ingénieux, ont, pendant ce temps en France et à l'étranger, continué à perfectionner l'enregistrement stroboscopique, et le plus heureux dans cette voie a été M. Hospitalier, dont l'ingénieux « Ondographe », très remarqué à juste titre, est actuellement le plus élégant et le plus pratique des appareils permettant d'inscrire des courbes approchées par la méthode stroboscopique. Cet instrument (2) développera, je pense, de la manière la plus utile le goût de l'étude des courants alternatifs dans les milieux industriels, et si les idées de ceux qui l'emploieront suivent la même évolution qu'ont subie les miennes lorsque j'employais l'enregistreur photographique, je ne serais pas étonné que dans quelque temps ils éprouvent à leur tour et pour les mêmes causes, le besoin d'une méthode directe, telle que celles dont je vais parler dans ce qui suit.

Le desideratum de ces méthodes directes est d'inscrire sans retard, et aussi fidèlement que possible, les valeurs successives du courant étudié (3).

De premières tentatives furent faites dans ce sens en réduisant l'inertie des galvanomètres ordinaires, comme le firent d'Arsonval, Arnoux, Eric Gérard ; mais il ne s'agissait encore que d'étudier des variations lentes, et ces galvanomètres ne pouvaient analyser des courants rapides. D'autre part, Colley, en 1885, voulant étudier des décharges oscillantes, ne se préoccupa que d'en déterminer la période par un galvanomètre analogue à l'électrodynamomètre de Bellati, et ne présentant pas de force directrice ; un essai analogue fut fait par M. Nichols à l'aide d'un filet de mercure tombant, parcouru par un courant, et oscillant dans un champ magnétique. On voit par ces appareils sans force directrice qu'à cette époque, on connaissait mal les conditions à remplir. Cependant, Frölich et E. Thomson, en 1887 et 1888, s'en rapprochaient davantage en employant

(1) On peut en effet, reprocher à la méthode indirecte, malgré ses avantages, plusieurs imperfections relatives ou absolues :

1° Impossibilité d'étudier les phénomènes non périodiques et plusieurs phénomènes simultanés ;

2° Impossibilité de saisir l'aspect instantané d'un phénomène, de le voir à chaque instant et d'en suivre les variations ; on n'a que des courbes moyennes, dont il faut attendre le tracé pendant une fraction de minute.

3° Impossibilité de distinguer sûrement les dentelures des courbes des dentelures parasites dues aux oscillations propres des galvanomètres enregistreurs.

3° Courant excessif emprunté par l'appareil pendant le passage du contact instantané ; si celui-ci dure par exemple 1/50 de la période, le courant pris par le galvanomètre est 50 fois plus grand que le courant normal pour lequel est indiqué cet instrument et peut perturber le régime des petites machines.

5° Causes d'erreur résultant des oscillations propres des galvanomètres et du moteur synchrone commandant le déroulement du papier de l'enregistreur, toutes les fois que les machines génératrices sont commandées par des moteurs à faible régularité.

6° Causes d'erreur résultant de la présence de condensateurs.

7° Enfin les appareils ne se prêtent pas à l'étude directe des hautes tensions.

(2) Voir *Éclairage Électrique*.

(3) Pour plus de détails sur les méthodes directes autres que les oscillographes, voir un rapport de l'auteur : Sur l'inscription directe des courants variables, au Congrès International de Physique en 1900.

comme instrument de mesure un téléphone muni d'un miroir collé sur la membrane. Mais le téléphone était un bien mauvais type d'instrument de mesure, à cause de la complexité de la vibration de sa membrane et des effets d'hystérésis et courants de Foucault dont il est le siège.

Ces différents essais ne furent suivis d'aucune application. Quelques années plus tard, en 1893, j'indiquai, en partant d'une analyse de la solution théorique (1), une première solution du problème par la création des *oscillographes* (2) qu'on peut définir des galvanomètres à oscillations très rapides par rapport à celles du courant, dépassant 1 000 périodes propres par seconde, et susceptibles d'être réglés à l'amortissement critique (3).

Une seconde solution fut donnée en 1897 (4), par M. Abraham sous le nom de *rhéographe*. Les rhéographes peuvent être définis des galvanomètres à oscillations moins rapides que celles du courant et dans lesquels l'inertie et l'amortissement sont compensés par des effets d'induction électromagnétique.

Enfin, à la même époque, M. F. Braun, reprenant et réalisant pour la première fois une idée indiquée déjà en 1894 par M. Hess, utilisa la déviation des rayons cathodiques par un champ magnétique pour obtenir dans un tube à rayons cathodiques une image de la courbe du courant traversant un solénoïde voisin du tube. C'est ce qu'on peut appeler l'*oscilloradiographie*.

Chacune de ces trois méthodes peut avoir sa raison d'être dans telle ou telle application. Mais on peut reprocher aux deux dernières d'exiger des expérimentateurs habiles et un matériel assez compliqué et de manquer de sensibilité (par exemple il est difficile d'employer avec les rhéographes des courants inférieurs à 1/2 ampère, tandis que certains oscillographes bifilaires prennent seulement 10 à 50 milliampères). L'oscilloradiographie surtout manque de commodité et de précision et exige des temps de pose tout à fait excessifs qui lui enlèvent toute raison d'être pour le moment ; les enregistreurs stroboscopiques cités plus haut donnent de meilleurs résultats.

Au contraire, les oscillographes sont faciles à manier, très simples de construction ; les derniers types que je vais ici décrire pourront, j'espère, être bientôt d'un usage général, tous les accessoires ayant été étudiés de façon à en rendre l'emploi facile et rapide.

Principes. — Pour obtenir le résultat désiré, il faut que les oscillations soient, autant que possible, à chaque instant proportionnelles au courant à mesurer. Si l'on se reporte à l'équation générale des galvanomètres amortis

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + C\theta = GI,$$

où K est le moment d'inertie, A le coefficient d'amortissement, C le couple de torsion, G la constante galvanométrique, I le courant à étudier, on voit qu'il faut rendre les deux premiers termes négligeables devant le troisième. La discussion se fait aisément en développant I et θ en séries de Fourier (5).

Supposons ce résultat obtenu ; en étalant les déviations dans le sens perpendiculaire, à l'aide des méthodes de composition optique bien connues dont on parlera plus loin, on traduit le mouvement oscillatoire par une courbe.

---

(1) Conditions générales que doivent remplir les instrument indicateurs ou enregistreurs (*Comptes rendus*, t. CXVI, p. 748 ; 1893).

(2) Oscillographes, nouveaux appareils pour l'étude des oscillations électriques lentes (*Comptes rendus*, t. CXVI p. 502 ; 1893).

(3) Plus récemment M. Ader et mon regretté camarade Cauro ont employé pour la télégraphie ou la téléphonie des appareils analogues à l'oscillographe bifilaire, mais ne comportant qu'un seul fil relativement long, et un miroir oscillant dans un champ magnétique puissant. Ces appareils présentent des oscillations propres bien trop longues pour pouvoir reproduire exactement les courants dont il s'agit ; ils peuvent seulement inscrire des signaux ou mesurer des courants alternatifs sinusoïdaux. Il en est de même de l'emploi du téléphone, indiqué en 1891 par Wien comme instrument de mesure. Ces appareils qu'on peut appeler des *oscilloscopes*, ne constituent pas une solution du problème ici considéré.

(4) *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, 1897.

(5) *Comptes rendus, loc. cit.*

D'après la théorie, que l'on reproduira plus tard, les conditions à remplir sont au nombre de cinq : les deux premières, d'ordre général, applicables à toute espèce d'indicateurs, les autres spéciales aux oscillographes électriques.

1° L'instrument doit avoir une *période d'oscillation propre* très courte par rapport à celle des oscillations électriques. En particulier, pour les courants alternatifs ordinaires, ayant une fréquence comprise entre 40 et 100 périodes par seconde, un bon oscillographe doit vibrer avec une fréquence au moins 50 fois plus grande, c'est-à-dire au moins 5000 périodes par seconde.

2° L'*amortissement* doit être réglé à une valeur aussi voisine que possible de l'apériodicité critique toutes les fois que les oscillations électriques ne sont pas bien continues, ou que les variations brusques ne sont pas supprimées par un artifice de correction. L'auteur a montré la nécessité de réaliser cet amortissement en plongeant les équipages mobiles dans des liquides visqueux, baumes ou huiles (vaseline, ricin), choisis empiriquement et auxquels on donne la température convenable.

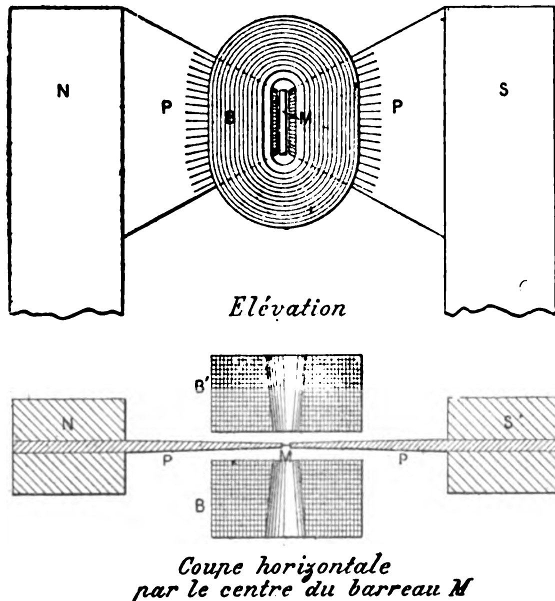



Fig. 2. — Schéma du premier oscillographe à fer doux de l'auteur, construit en 1893.

N, S, pôles d'un aimant ou électro-aimant; P, P, pièces polaires plates feuilletées; M, petit barreau mobile en fer doux, doublé d'un miroir et pivoté entre pointes, ou collé sur un fil métallique. BB bobines.

Lorsque la fréquence des vibrations propres de l'appareil est très grande, la précision de l'amortissement perd de son importance, car il est possible de rétablir le tracé exact sous les dentelures, d'ailleurs toujours vite amorties.

3° La *self-induction* propre doit être assez faible pour ne pas altérer la loi de variation du courant mesuré.

4° Les phénomènes d'*hystérésis* et les *courants de Foucault* dans l'appareil doivent être négligeables

5° La *sensibilité* doit être suffisante, ce qui entraîne l'emploi de parties mobiles excessivement petites.

Les conditions 1°, et 5°, plus ou moins opposées entre elles, sont les plus difficiles à concilier.

J'ai étudié et indiqué dès le début (1893) trois types satisfaisant, avec des sensibilités diverses, à ces conditions : l'oscillographe bifilaire, l'oscillographe à barreau mobile et l'oscillographe à plaque vibrante. Tous ceux qui ont été construits depuis rentrent dans ces types. Mais mon dernier type d'oscillographe à fer doux est une combinaison du barreau et de la plaque vibrante en un seul organe.

Oscillographes a fer doux. — Dans l'appareil primitif, dont la figure 2 donne le schéma, un très petit barreau de fer doux portant un miroir était suspendu dans un champ magnétique très intense produit par un aimant ou mieux par un électro-aimant puissant; le courant à étudier passait dans deux bobines placées de part et d'autre des pièces polaires (très aplaties pour laisser la place nécessaire), et produisait un champ oscillatoire perpendiculaire au champ directeur. Pour réduire le moment d'inertie, le barreau était plus haut que large. Pour éviter les courants de Foucault, les pièces polaires étaient faites en tôles assemblées feuilletées horizontalement.

Par suite des attractions auxquelles le barreau mobile était soumis dans le champ intense, on était obligé de le maintenir mécaniquement par des pivots ou de le fixer à une petite bande métallique tendue verticalement; la fréquence était au début seulement de 1 000 à 1 500 périodes par seconde, puis elle fut portée jusqu'à 6 000 environ [1].

---

[1] C'est ainsi qu'en 1897, j'ai présenté à la Société de Physique un appareil de ce genre déjà plus perfectionné,

Après de nouvelles recherches, j'ai été amené par une étude théorique à prendre comme barreau la bande elle-même, en la faisant en fer doux. La combinaison ainsi réalisée, qui m'a donné des résultats inespérés, et qui peut être appelée « l'oscillographe à bande vibrante », a été présentée pour la première fois au Congrès des électriciens, à Paris, en 1900. C'est la seule qu'il y ait lieu, je crois, de décrire désormais pour l'emploi du fer doux.

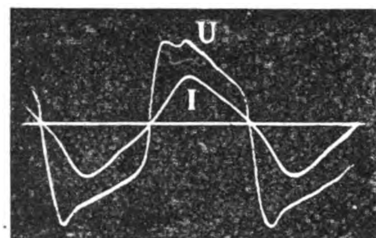



Fig. 3. — Fac-similé de courbes périodiques d'un arc alternatif (crayons à mèches, circuit inductif) obtenues par l'oscillographe double de 1897.

Oscillographe a bande vibrante. — Ce nouveau dispositif consiste simplement dans l'emploi d'une bande plate très mince et très étroite (2/10 à 3/10 de millimètre de largeur sur quelques centièmes d'épaisseur) tendue verticalement dans le champ magnétique de la figure 2, entre deux chevalets distants de 20 mm à 30 mm, portant un très petit miroir en son milieu et renfermée dans une boîte à huile munie d'une lentille ; de cette manière le fer doux n'a plus besoin de pivots ni de fil de suspension. Il est soumis à l'action d'un champ transversal produit par une paire de bobines, placées en avant et en arrière des pièces polaires.

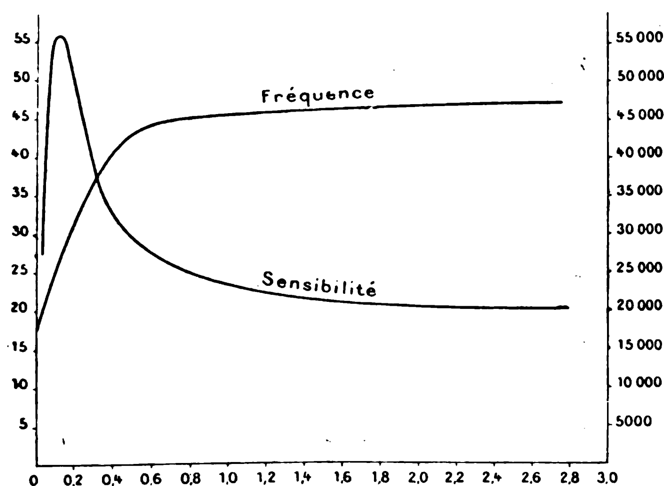



Fig. 4. — Spécimen d'une courbe de relation entre les intensités du champ magnétique, la sensibilité et la fréquence.

Abscisses : courant d'excitation du champ (électro-aimant) en ampères; ordonnées de droite : nombres de vibrations doubles par seconde; ordonnées de gauche : déviations à 1 mètre en millimètres par ampère (avec de très petites bobines de 6 ohms de résistance).

Chaque élément horizontal de la bande se comporte comme un petit aimant et les déviations produites par l'effet des bobines se cumulent des extrémités au centre de la bande, ce qui augmente beaucoup la sensibilité; les déviations totales indiquées par le miroir sont proportionnelles au courant.

Grâce aux propriétés des vibrations tournantes, beaucoup plus rapides que les vibrations transversales, cet équipage mobile tend à présenter une périodicité très élevée qu'augmentent encore les influences de la tension et du champ magnétique. On démontre, en effet, que le nombre de vibrations propres est la racine carrée de la somme des carrés des nombres de vibrations dues respectivement à l'élasticité de torsion, à la tension (nombre des vibrations transversales) et enfin au champ magnétique.

L'auteur a pu obtenir depuis deux ans par ce dispositif, réalisé avec l'habile et persévérant concours de M. Dobkévitch, ingénieur constructeur, des fréquences propres de

construit avec le concours de MM. Jigouzo et Pellin, permettant la vision directe des courbes et donnant 5000 à 6000 vibrations propres par seconde, ce qui assurait une assez grande précision pour l'étude des courants industriels.

L'appareil était double et donnait à la fois (ce qu'on n'avait pas réalisé encore à cette époque) les courbes de l'intensité de courant et de la différence de potentiel, dans leurs phases relatives, sur un même écran ou sur une même plaque photographique, qui recevait, en outre, une image de l'axe des temps, comme le montre la figure 3. Chacun des oscillographes était analogue à celui de la figure 2 et avait son champ produit par un électro-aimant. Le barreau réduit à 1 mm de largeur était contenu avec ses pivots dans une petite boite à huile fermée par une lentille.

40 à 50000 périodes par seconde [1] avec une sensibilité convenable. Cette sensibilité peut être grandement accrue si l'on se contente de 10000 à 20000 périodes; elle atteint alors aisément 200 mm par ampère à 1 mm et même davantage, si le fer employé est très pur et bien recuit.

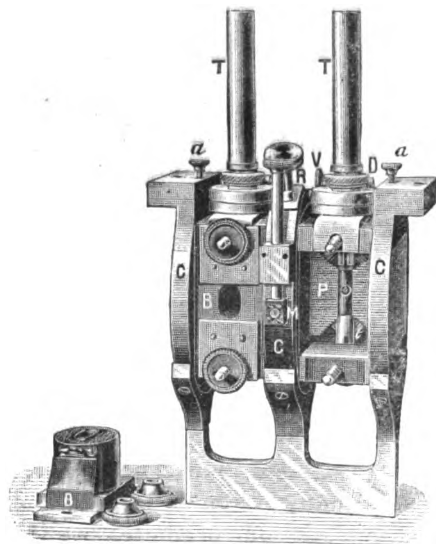



Fig. 5. — Pièce principale de l'oscillographe double à bande de fer doux (1900).

C, support en bronze; P, pièces polaires feuilletées; T, tubes à huile; D, vis hélicoïdales réglant la hauteur des tubes; V, vis tangentes réglant l'orientation; *a*, bouton d'arrêt de l'inclinaison en avant; M, miroir de repère; — R, vis pour le régler; B, bobine.

Il semble que ce procédé donne le maximum d'avantages dans l'emploi du fer doux, parce qu'il permet d'atteindre des intensités d'aimantation très élevées de la bande, même avec les champs relativement faibles produits par un aimant permanent. Ces champs suffisent pour donner 30000 à 40000 vibrations avec un aimant un peu fort, 8000 à 12000 avec un petit aimant de quelques kilogrammes. Grâce à sa minceur extrême, la bande atteint aisément la saturation.

L'utilité d'une aimantation saturée est très visible si l'on trace, pour un oscillographe à électro-aimant, des courbes du genre de celles de la figure 4 où l'on a porté en abscisses les ampères-tours magnétisants et en ordonnées les nombres de vibrations doubles par seconde et les sensibilités (en millimètres par ampère sur une échelle placée à 1 m de distance). On voit que la sensibilité va d'abord en croissant, grâce à l'aimantation croissante de la bande, puis qu'elle décroît, à partir du moment où cette aimantation augmente moins vite que le champ; au contraire le nombre de vibrations va toujours en croissant, d'abord très vite puis plus lentement par suite de la saturation de la bande et aussi de la saturation du noyau de l'électro-aimant. Il y a une très grande différence entre les résultats suivant que le fer employé est plus ou moins parfaitement doux, aussi bien pour le nombre de périodes que pour la sensibilité.

La sensibilité se règle d'ailleurs dans de larges limites en shuntant magnétiquement plus ou moins l'aimant par un cavalier de fer doux.

La figure 5 montre une vue d'ensemble d'un oscillographe double de ce système construit par M. Dobkévitch et la figure 6 représente avec plus de détails la pièce principale de cet instrument, telle qu'on l'adapte par quatre vis simplement dans l'entrefer de l'aimant. Elle comprend une entretoise en bronze portant trois anneaux dans lesquels peuvent tourner des paquets de tôles découpés suivant la forme indiquée figure 6, et contre lesquels s'appliquent les bobines. Les deux boîtes à huile munies de chapeaux, qu'on voit entre les pièces polaires, sont d'un type analogue à celui que montre la figure 7 dans laquelle les chapeaux sont enlevés. L'explication plus détaillée de ces figures est donnée pour chacune par les légendes qui les accompagnent. Le tube à huile représenté à part est en ivoire avec pièces polaires incrustées pour les fréquences élevées. Pour les fréquences moyennes, il est plus pratique pour éviter les fuites d'huile d'employer un autre modèle, également bien étudié, en verre, sans incrustation.

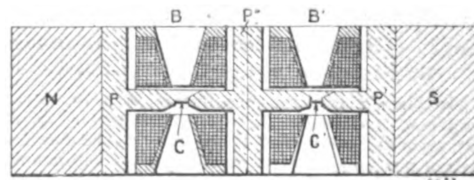



Fig. 6. — Coupe horizontale schématique d'un oscillographe double à bandes de fer doux.

N, S, pôles de l'aimant; P, P', P'', pièces polaires feuilletées; C, C', bandes; B, B', bobines.

(1) L'auteur a été également utilement assisté au début de son étude par MM. Duris et Tchernosvitoff et Farmer. Les bandes de fer doux ont été préparées par MM. Gaiffe et Pellin, constructeurs; les miroirs et les tubes à huile par M. Wehrlein.

Il va sans dire que la bande étant très petite, il doit en être de même des miroirs ; ceux-ci ont pu, grâce aux efforts de MM. Pellin, Verhlein et Dobkévitch, être réduits à 2/10 de millimètre (¹) de largeur sur 1/20 à 1/10 d'épaisseur et 5/10 de hauteur. Ils sont en verre ou en mica, argentés par le procédé Martin ou Foucault ; ils sont collés à la gomme laque sur les bandes après le montage de celles-ci sur le petit support qu'on introduit ensuite dans la boîte à huile.

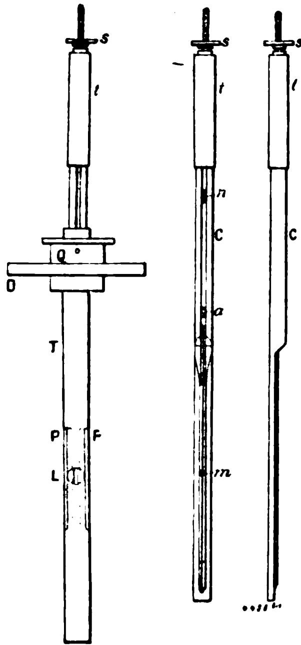



Fig. 7. — Boîte à huile de l'oscillographe à bande de fer vibrante (1900) (chapeau enlevé).

T, tube à huile en ivoire (ou plus récemment en verre); P, P, pièces de concentration du champ magnétique, incrustées dans le tube (ou fixées au support) ; en avant se trouve une fenêtre munie d'un lentille L, incrustée dans la paroi ; Q, anneau de cuivre muni d'une vis tangente et d'une vis hélicoïdale; C, détail du chevalet support en ivoire contenu dans la boîte à huile ; *m*, miroir collé sur la bande ; *a*, attache de la bande à un petit chariot qui coulisse dans la rainure rectangulaire C ; *n*, tige d'attache de ce chariot ; *t*, petit cylindre en cuivre, contenant un ressort spiral autour de la tige ; *s*, bouton moleté servant d'écrou à la partie supérieure filetée de la tige *n* ; en tournant ce bouton on tend plus ou moins le ressort qui soulève la tige, et, par suite, on tend plus ou moins la bande de fer doux fixée en *a*.

Grâce à ce dispositif des boîtes à huile, l'oscillographe à fer doux réalise le précieux avantage de l'interchangeabilité et d'un facile montage qui rend le changement d'un équipage très facile, et permet même d'en avoir un en réserve. Avec une série de chevalets ou de boîtes à huile on peut réaliser des fréquences et des sensibilités variées ; en employant par exemple des bandes plus larges avec de plus gros miroirs, on transforme l'appareil de laboratoire en appareil de démonstration pour projections ; celles-ci se font sur un écran blanc de 1 m² environ.

Enfin grâce à l'emplacement très restreint occupé par les boîtes à huile et les bobines qui ont moins de 30 mm de largeur, et aux faibles champs nécessaires, il est facile de loger côte à côte dans un même circuit magnétique deux et même trois oscillographes semblables et indépendants. Il suffit, pour éviter complètement toute influence réciproque, de les séparer par des cloisons de tôles feuilletées en donnant aux pièces polaires intermédiaires la forme de ⊢ comme le montre la figure 6. La convergence des images s'obtient par simple orientation des boîtes à huile.

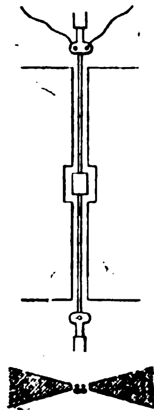


Fig. 8. — Schéma du premier oscillographe bifilaire de l'auteur construit en 1893

Oscillographe bifilaire. — C'était en 1893 une forme complètement nouvelle de galvanomètre (fig. 8) dérivant indirectement d'un galvanomètre à cadre mobile. L'inertie du cadre et la sensibilité étant toutes deux proportionnelles au nombre de spires, l'auteur en a conclu que la plus simple des solutions consistait à supprimer le cadre et à le remplacer par un simple *bifilaire*, formé de deux fils parallèles très rapprochés traversés par le courant étudié et portant un miroir collé en leur milieu ; ce bifilaire est placé entre deux pôles d'électro-aimant allongés et aussi rapprochés que possible, comme le montre la figure 8, et donnant au champ magnétique la plus grande intensité possible.

Les grands avantages de ce dispositif sont : la simplicité de la suspension, l'absence de toute vibration parasite, la très faible self-induction, et la grande intensité réalisable pour le champ magnétique qui donne beaucoup de sensibilité. Les inconvénients sont la nécessité de ce champ puissant, la finesse des fils nécessaires et la difficulté de les isoler et de faire tenir le miroir sur le bifilaire d'une façon durable.

Enfin bien qu'on ait soin d'égaliser la tension des deux brins autour d'un goujon fixé au support inférieur, il est difficile qu'elle se maintienne rigoureusement.

Aussi après avoir fait exécuter un modèle de cet appareil, que je possède encore, un peu plus

(¹) En pratique pour réduire les effets de diffraction une largeur de 5/10 à 8/10 est préférable.

parfait que ne l'indique mon premier schéma, n'en ai-je pas alors tiré grand parti, ayant préféré chercher à perfectionner le type à fer doux qui me paraissait plus robuste.

La mise au point pratique de l'oscillographe bifilaire a été activement reprise en Angleterre en 1897 et 1898 par M. Duddell [1], qui en a beaucoup accru la sensibilité et la commodité de montage. Partant, comme il l'a courtoisement reconnu, de ma brève description de 1893, cet auteur a perfectionné l'appareil bifilaire dans plusieurs détails importants ; bien qu'au point de vue théorique on puisse en discuter l'avantage, il a surtout été heureusement inspiré, je crois, en remplaçant mes fils de cuivre par des bandes de bronze phosphoreux (disposition imitée de la suspension des galvanomètres Ayrton et Mather) dont il a pu réduire assez la section pour obtenir de bonnes sensibilités avec des fréquences atteignant 3 000, puis 10 000 périodes propres.

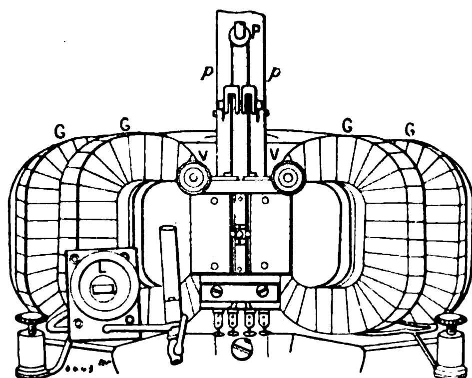


Fig. 9. — Disposition de l'oscillographe bifilaire double de Duddell (1898).

La figure 9 montre le mode de construction de M. Duddell pour un bifilaire double [2]. Les deux bifilaires sont montés dans deux entrefers voisins ménagés dans le circuit magnétique d'un gros électro-aimant en forme de tore. Ils s'appuient sur deux chevalets, l'inférieur fixe, le supérieur mobile au moyen d'une vis d'orientation V. Ces bifilaires sont passés respectivement sur deux poulies tendeuses $p$, tirées elles-mêmes par une poulie d'équilibrage P attachée au crochet d'un peson réglable. Sur les pièces polaires on visse, après montage, une plaque de fermeture L portant une lentille et formant avec ces pièces polaires la boîte à huile (le tube représenté à droite de L sert de niveau constant).

Cet appareil étant encore loin de la perfection théorique et de la facilité d'emploi industriel que je jugeais possibles, j'ai repris à mon tour l'étude du bifilaire dans ces dernières années, et c'est ma nouvelle solution et sa réalisation (construction faite encore par M. Dobkévitch) que je vais maintenant décrire, en passant successivement en revue les perfectionnements du circuit inducteur et des équipages oscillants.

Pour obtenir avec le moindre poids d'électro-aimant (30 kg pour les petits modèles, 55 à 60 pour les plus grands) le champ le plus intense, j'ai adopté la méthode de construction de M. Weiss, à deux bobines parallèles superposées, avec saturation rationnelle du fer, surtout à la sortie des lignes de force. Pour concentrer celles-ci, j'ai réduit au minimum (40 mm pour le type triple) la largeur de l'ouverture ménagée au milieu de la bobine supérieure pour placer la boîte à huile, et j'ai cherché à réaliser pour les pièces polaires une forme voisine de celle qui résulte des travaux d'Ewing : les pôles de l'électro sont tronc coniques, et se prolongent dans les parois en bronze de la boîte à huile par des pièces de concentration comme le montre la figure 10. Dans les appareils doubles ou triples, d'autres pièces de concentration plus petites sont intercalées entre les bifilaires. Enfin ceux-ci sont encore encadrés d'autres petites pièces (remplaçant approximativement l'isthme magnétique d'Ewing), entre lesquelles est ménagé l'entrefer de 0,8 mm à 1 mm. La concentration du champ est ainsi obtenue. Les mêmes dispositifs s'appliquent aussi avec succès (tout en donnant naturellement des champs bien plus faibles) avec les aimants permanents, quand on ne désire pas une grande sensibilité.

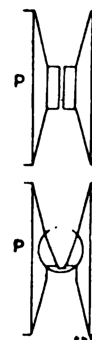


Fig. 10. — Disposition des pièces polaires et des pièces de concentration en fer doux des oscillographes bifilaires (1900).

---

(1) *British Association*, Toronto, 1897.

(2) DUDDELL et MARCHAND, *Institution of Electrical Engineers*, février 1899.

La pièce principale de mes instruments bifilaires est une boîte à huile amovible, représentée par la figure 11 et qui s'adapte indifféremment dans un électro-aimant ou dans un aimant. La figure 12 en montre par exemple l'adaptation dans un électro-aimant pour oscillographe double, cet électro-aimant se place, comme le montre la figure, dans une caisse qu'un soufflet réunit à une chambre noire contenant les appareils optiques dont on parlera plus loin (fig. 17).

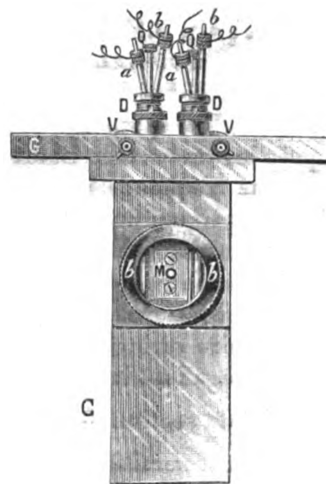



Fig. 11. — Pièce principale de l'oscillographe bifilaire double se plaçant entre les pôles de l'aimant ou électro-aimant (1901).

C, boîte en bronze avec pièces de fer brasées à l'intérieur; G, plateau supérieur; *b*, *b*, bifilaires; M, miroir de repère; V, vis tangentes pour l'orientation; D, vis hélicoïdale pour le réglage en hauteur; Q, tige à bouton moleté pour le réglage du plongement des rayons; *a* et *b*, bornes d'entrée et de sortie des courants.

La même boîte à huile peut remplacer dans les appareils à aimant la pièce principale d'oscillographe à fer doux décrite plus haut. Elle présente du reste à peu près les mêmes procédés de réglage, sauf pour le réglage du plongement des rayons qui se fait par deux tiges solidaires des tubes supports.

Les perfectionnements des équipages mobiles dans ce dispositif sont nombreux. Tout d'abord ils sont montés, comme ceux des appareils à fer doux, sur des supports amovibles et indépendants, qu'on introduit à volonté dans la boîte à huile étanche, fermée à sa partie antérieure par une lentille. Chaque support porte à sa partie inférieure un petit tendeur, à poulie et ressort, dont on règle une fois pour toutes la tension de façon que le bifilaire soit bien plat et bien appuyé sur ses chevalets. Les prises de courant sont fixées au haut de chaque support et communiquent avec les attaches des bandes, qui baignent *entièrement* dans l'huile. On réalise ainsi les avantages suivants, qui existaient jusqu'ici seulement dans nos appareils à fer doux :

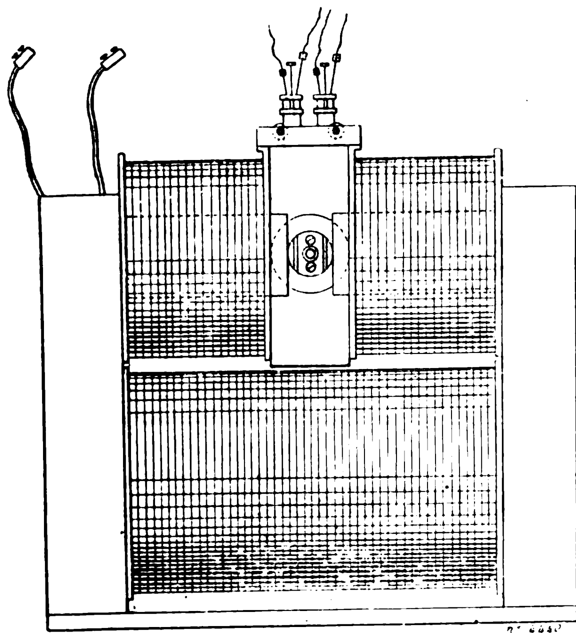


Fig. 12. — Oscillographe bifilaire double de l'auteur (1901).

1° Indépendance, interchangeabilité et facilité de visite et de réparation des bifilaires ;

2° Suppression des fuites d'huile des boîtes à huile, étanchéité facile ;

3° Suppression des causes de rupture mécanique des bandes, conservation sûre ;

4° Possibilité d'employer sans échauffement des intensités de courant plus élevées, donnant plus d'amplitude aux courbes ;

5° Réglage de l'orientation du miroir oscillant par rotation du support, sans torsion du bifilaire, (au moyen de la vis tangente V fig. 11);

6° Possibilité de régler la hauteur du miroir et son plongement dans le plan vertical (au moyen des vis D et Q) ; on a ainsi les trois réglages des rayons lumineux reconnus nécessaires pour faire coïncider aisément les spots des appareils doubles ou triples ;

8° Possibilité de réduire l'espace libre entre les bobines de l'électro-aimant (puisqu'on introduit les bifilaires tout montés préalablement) et par conséquent d'accroître le champ ;

9° Possibilité d'utiliser l'appareil à volonté pour des projections, comme on l'expliquera plus loin.

Chaque appareil peut être muni de plusieurs supports interchangeables établis suivant des

données différentes, ce qui permet d'utiliser l'instrument pour des applications variées exigeant plus ou moins de sensibilité, plus ou moins de lumière, etc.

Un autre perfectionnement a porté sur le métal des bandes.

L'équipage bifilaire de ces appareils peut être considéré (et c'est là son grand avantage) comme un appareil à *vibrations tournantes*, étant donné que les fils ou bandes sont très rapprochés et parfaitement solidarisés en leur milieu par le miroir, de manière que toute torsion de celui-ci imprime aux deux brins, non seulement des déplacements transversaux, mais des torsions. Or, on sait, d'après les travaux de Saint-Venant, que les vibrations tournantes d'une tige prismatique peuvent avoir une fréquence beaucoup plus élevée que ses vibrations transversales ; sans qu'il soit nécessaire d'appliquer au bifilaire des tensions très grandes, on peut donc accroître la fréquence propre en augmentant le nombre des vibrations tournantes des deux brins.

On démontre que le nombre de vibrations est la racine carrée de la somme des carrés du nombre des vibrations dues à l'élasticité de torsion et du nombre des vibrations transversales ; on peut donc le faire varier dans certaines limites en tendant plus ou moins le ressort auquel est attachée la poulie égalisatrice. Pour réduire la période de vibration propre, sans accroître trop la tension par unité de section $\frac{T}{\sigma}$, il convient d'employer des bandes assez épaisses relativement à leur largeur (l'idéal serait des fils carrés ou ronds très rapprochés), et de réduire au minimum le rapport $\frac{\varpi}{E}$ du poids spécifique au coefficient d'élasticité par le choix convenable du métal. L'aluminium présente à ce point de vue une notable supériorité théorique.

La discussion de la sensibilité, pour un nombre de vibrations donné, conduit aux mêmes desiderata.

L'auteur a pu, grâce au précieux concours de M. Charpentier-Page, satisfaire à ces conditions en employant des bifilaires d'aluminium très élastiques, en fils plats et ronds de très petites sections. Le bronze siliceux plus facile à préparer donne aussi de bons résultats. L'argent convient particulièrement pour les hautes sensibilités.

Avec ces dispositions des bifilaires très courts (10 à 15 mm) en aluminium, et des miroirs très petits collés à la gomme laque, on atteint des nombres de vibrations de 12 000 à 15 000 par seconde et des sensibilités de 600 à 1 000 mm par ampère à 1 m de distance. On obtient ainsi de très bons appareils de laboratoire. Pour certains usages, on peut quadrupler la sensibilité en se contentant de 5 à 6 000 vibrations par seconde, et la vingtupler avec 2 500 périodes (pour l'électrophysiologie). Les sensibilités des bifilaires à aimant sont réduites d'environ les deux tiers à fréquence égale.

(*A suivre.*)

André Blondel.

---

# ALTERNATEURS A COLLECTEUR

Considérons un induit de dynamo bipolaire à courant continu monté sur ses paliers et détaché du système inducteur qui l'entoure. Disposons sur le collecteur de cet induit $p$ balais fixes calés à $\frac{360^\circ}{p}$ les uns des autres. Si nous envoyons des courants polyphasés à $p$ phases de pulsation $\omega$ par ces $p$ balais, nous réalisons un champ tournant de vitesse angulaire $\omega$.

Lançons l'induit dans le sens de ce champ à la vitesse $\omega$ ; l'impédance de l'induit par rapport à la source de courants polyphasés, quelle que soit l'intensité du champ, se réduit aussitôt à sa résistance ohmique, car il n'y a plus de force électromotrice de self-induction induite entre balais. Les lames du collecteur doivent donc être considérées, dans ces conditions, comme les

touches successives d'un rhéostat non-inductif. On remarquera immédiatement que le fer de l'induit, pour un synchronisme rigoureux, suivrait exactement le champ tournant. Il se développerait en conséquence des pôles nord et sud dans le fer. L'induit peut donc impunément être en fer massif et en acier d'inducteur à grand coefficient d'hystérésis sans que l'on ait à redouter des pertes par courants de Foucault ou par hystérésis. Ces pertes ne pourraient se produire que pour les harmoniques du champ et elles auraient alors plutôt l'heureux effet d'amortir l'amplitude de ces derniers. Les pertes qui se produiraient éventuellement pour un simple glissement, serviraient à la marche asynchrone.

En somme, l'induit de dynamo tournant à la vitesse $\omega$ dans les conditions indiquées est entièrement l'équivalent d'un électro-aimant *annulaire* tournant à la vitesse $\omega$. Pour exciter cet électro mobile portant un enroulement d'induit de dynamo à courant continu avec du courant continu, on devrait introduire le courant continu par deux frotteurs portant sur deux bagues reliées à deux points opposés de l'enroulement. J'effectue l'excitation avec des courants polyphasés de pulsation $\omega$ en utilisant un collecteur Pacinotti adapté à l'enroulement et $p$ balais. Si l'excitation se fait entre deux balais aux tensions usuelles de 110 et 220 volts, l'enroulement disposé sur l'électro-aimant annulaire considéré devra être, pour ne pas brûler, à fil fin d'inducteur de telle sorte que cet enroulement correspondra, quant au nombre de spires et à la finesse du fil, à un induit de dynamo à courant continu de mêmes dimensions d'environ 5 ou 10 000 volts. Le collecteur serait alors évidemment d'une exiguïté extrême, car on n'aurait que très peu d'ampères à commuter sous chaque balai. J'ai eu l'idée d'introduire dans les alternateurs, au lieu et place des électros à pôles saillants excités avec du courant continu, de semblables électros annulaires excités avec des courants polyphasés. Il résulte, tant du mode d'excitation directe par courants polyphasés avec collecteur Pacinotti que de la forme de révolution parfaite de ce nouveau système inducteur, quelques avantages intéressants.

J'ai remarqué tout d'abord que les alternateurs ainsi construits pouvaient, par leurs propres ressources, produire leur champ inducteur. Le système inducteur décrit demande, en effet, pour son excitation, des courants de pulsation $\omega$, mais comme il induit lui-même dans le stator où je le dispose, des tensions de pulsation $\omega$, on peut songer à utiliser précisément une partie des courants induits eux-mêmes pour l'excitation.

Je suis arrivé à la conception de l'alternateur shunt représenté par la figure 1. Cet alternateur travaillant sur un réseau L comprend un stator S et un rotor inducteur R. Le collecteur Pacinotti, au lieu d'être disposé sur l'induit comme dans une dynamo à courant continu, est ici disposé sur l'inducteur.

Les courants d'excitation de pulsation $\omega$, amenés par les balais dans le rotor inducteur tournant à la vitesse $\omega$, ont une certaine phase absolue dans le temps qui détermine la position du champ inducteur dans la masse de fer du rotor. Il est évident que, les tensions entre balais gardant la même phase, si l'on avance le jeu des trois balais d'un angle $\alpha$ dans le sens du mouvement, le champ inducteur avance de ce même angle dans la masse du rotor ; que, de même, si l'on recule les balais d'un angle $\beta$ le champ inducteur recule dans le rotor d'un angle $\beta$. La position du champ inducteur dans le rotor dépend donc du calage des balais et de la phase absolue des tensions entre balais. Les pôles ne tiennent évidemment en aucune façon au fer du rotor inducteur. C'est la vitesse seule du rotor qui, pour une phase donnée des tensions entre balais et un calage de balais déterminé, les maintient en position.

Supposons que l'alternateur fonctionne en générateur. Etablissons son diagramme de fonctionnement. Au lieu de raisonner comme on le fait généralement sur des vecteurs représentant des flux, je raisonnerai sur des vecteurs représentant des forces magnétomotrices. Une force magnétomotrice sera définie en direction par celle du flux qu'elle produirait isolément. Notre diagramme, dans ces conditions, aura un sens exact sans qu'il soit besoin de supposer pour son établissement que la réluctance $\mathcal{R}$ du circuit magnétique est indépendante de la grandeur des flux. La composition des vecteurs s'applique ici en toute rigueur parce que le système inducteur est de révolution.

Il y a dans la machine (fig. 2) une certaine force magnétomotrice résultante OM. Cette force magnétomotrice engendre dans la machine le flux résultant $\frac{OM}{\mathcal{R}}$ qui induit, aux bornes du stator, certaines tensions. Si ces tensions étaient seules à s'exercer, c'est-à-dire s'il n'y avait pas dans le réseau des forces électromotrices en quadrature avec les courants (de self-induction ou capacité), nous savons que les courants engendrés dans le stator produiraient, en vertu de la loi de Lenz, une force magnétomotrice dite de réaction d'induit en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur la force magnétomotrice résultante OM. Elle aurait la direction OP. Mais ces courants subissent dans le réseau un certain décalage positif ou négatif $\varphi$ et la force magnétomotrice de réaction du stator prend une certaine direction OS. Si nous connaissons maintenant les tensions aux bornes de l'alternateur et le débit, nous connaissons, pour une machine donnée, les vecteurs OM et OS en grandeur. Nous retrouvons alors facilement la force magnétomotrice OR que doit produire le rotor en grandeur et en direction pour le régime considéré.

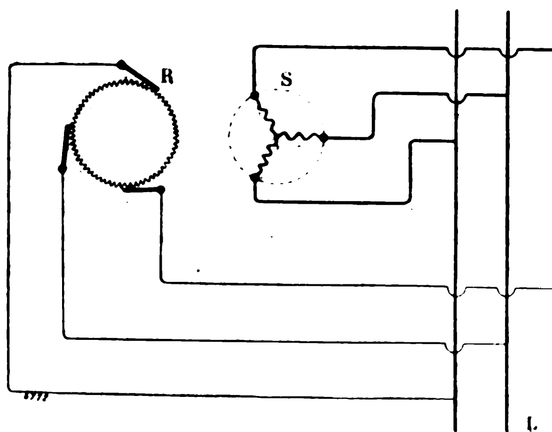


Fig. 1.

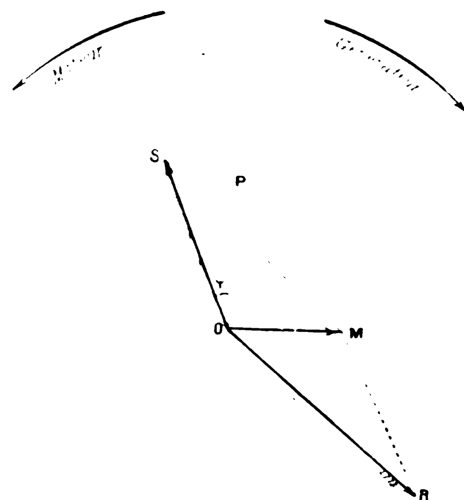


Fig. 2.

La grandeur de cette force magnétomotrice est assurée, comme dans une dynamo shunt à courant continu, par un calcul judicieux de l'enroulement inducteur. Nous connaissons, en effet, les tensions auxquelles est soumis cet enroulement entre balais et nous savons les ampères-tours $\frac{OR}{4\pi}$ qu'il doit produire.

La direction de cette force magnétomotrice, elle, sera assurée seulement par le calage des balais. La phase des tensions d'excitation étant représentée par la direction OP, le calage des balais que l'on doit établir pourra être défini par l'angle POR.

Si, dans ce diagramme de la figure 2, nous changeons un élément quelconque OM, $\varphi$, OS, on se rend immédiatement compte que l'angle POR varie. C'est dire qu'un régime différent suppose toujours, pour le maintien de la marche synchrone, un calage des balais différent. Mais admettons que l'on veille très soigneusement à maintenir un calage toujours parfait des balais.

La force magnétomotrice engendrée par le rotor est proportionnelle aux tensions d'excitation entre balais, soit aux tensions induites aux bornes du stator. Elle est, par suite, une fonction de la force magnétomotrice résultante productrice du flux dans la machine.

1) $$OR = \psi\,(OM).$$

Cette fonction $\psi$ est représentée par la courbe I de la figure 3. La courbe I n'est autre que la caractéristique à circuit ouvert et à excitation séparée de l'alternateur. Les ordonnées sont simplement multipliées par un facteur déterminé. Cette courbe est connue.

Supposons maintenant que l'alternateur fonctionne avec un certain débit OS sous un décalage $\varphi$. Nous voulons connaître en quel point de la caractéristique I la machine travaille. Dans le triangle OMR (fig. 2) nous avons

$$\text{II)} \qquad SM = OR = \sqrt{\overline{OM}^2 + 2OS \sin \varphi . OM + \overline{OS}^2}.$$

Nous pouvons donc représenter, sur la figure 3, OR en fonction de OM par une courbe particulière II se rapportant au cas spécial considéré et donnée par l'équation II. Ce serait un arc d'hyperbole.

Cette courbe II couperait généralement la courbe I en deux points A et B. On aurait donc deux points de fonctionnement possibles. Pour le même débit OS sous un décalage déterminé $\varphi$, on pourrait avoir deux tensions aux bornes différentes, c'est-à-dire deux régimes différents. C'est une particularité théorique qui est, comme on sait, spéciale à la dynamo shunt. Il est bien entendu qu'un seul fonctionnement est stable. C'est celui qui correspond à la tension la plus élevée.

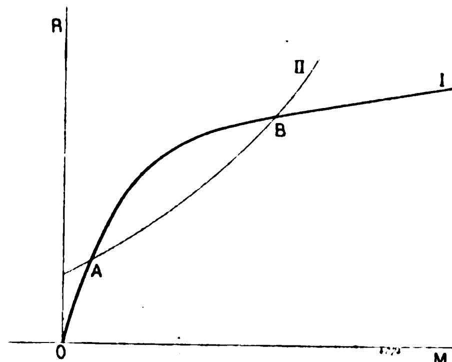


Fig. 3.

Si l'alternateur travaille à $\varphi$ constant, on peut construire point par point sa caractéristique à circuit fermé. OS est en effet proportionnel au débit et OR aux tensions. On remarquerait que cette caractéristique rappelle celle d'une dynamo shunt. Il y a un débit maximum que l'alternateur ne peut pas dépasser.

La marche synchrone du rotor correspond théoriquement à une commutation parfaite. En effet, les sections en court-circuit ne sont alors le siège d'aucun phénomène d'induction et la commutation s'opère par le jeu naturel du déplacement relatif des balais et du collecteur. *Le calage des balais établissant la marche synchrone est à l'alternateur shunt ce que le calage des balais sur la ligne vraiment neutre est à une dynamo shunt.* Il y a donc une raison tout à fait dans la nature des choses pour s'en tenir à la marche synchrone.

Pratiquement, le calage des balais ne serait toujours pas assez parfait pour que la marche synchrone fût rigoureusement établie. D'ailleurs, aux variations brusques de charge, le synchronisme serait toujours perdu à un glissement près.

Supposons donc un mauvais calage des balais. Le diagramme de fonctionnement devient alors un peu plus compliqué. Le synchronisme n'étant plus assuré, il y a un certain glissement. Le flux $\frac{OM}{\mathcal{R}}$ induit en conséquence certaines tensions dans l'enroulement d'excitation. Le diagramme des forces magnétomotrices OM, OS, OR reste le même. Mais l'angle de calage effectif des balais POQ n'est plus fait égal à POR (fig. 4). Je porte sur OQ une longueur O$k$ égale à la tension entre deux balais, soit entre deux bornes du stator. O$k$ est une fonction connue de OM. Si on avait la marche synchrone, la direction de la force magnétomotrice du rotor serait OQ, mais par suite de la tension O$g$ induite entre deux balais par le glissement du champ dans le rotor, tension qui vient se composer géométriquement avec O$k$, la force magnétomotrice du rotor prend bien la direction OR.

On voit que suivant que OQ sera en avance ou en retard sur OP, ce qui correspond à un mauvais calage par excès ou par défaut, le glissement sera de signe différent (fig. 4 et 5).

Il est facile de voir sur la figure 2 que, si le débit augmente, l'angle POR augmente. C'est donc que l'on doit décaler les balais *dans le sens du mouvement*, lorsque la charge augmente. Lors d'une augmentation brusque de charge le décalage des balais deviendra donc brusquement trop faible et l'on réalisera le cas de la figure 4. On aura alors un glissement positif ayant le sens de celui qui existe dans les génératrices asynchrones ordinaires. Lors d'une diminution brusque de

charge, au contraire, le décalage des balais deviendra brusquement trop important et il s'introduira alors un glissement en sens inverse de celui des génératrices ordinaires (fig. 5).

Admettons un calage des balais donné tel que : $\widehat{POQ} = \alpha$.

Fig. 4.

Fig. 5.

Au lieu de porter sur OQ et sur OP des longueurs O$k$ et O$g$ égales aux tensions induites aux bornes du stator, d'une part, et entre balais, d'autre part, imaginons que nous eussions porté des longueurs égales aux forces magnétomotrices que ces tensions développeraient individuellement, si elles étaient seules à s'exercer dans le circuit d'excitation.

Fig. 6.

Ces deux forces magnétomotrices entreraient en composition avec OS pour donner la force magnétomotrice résultante OM. La somme des projections de ces trois forces magnétomotrices composantes sur OM serait donc égale à OM elle-même. Or, la projection de la force magnétomotrice produite par O$g$ sur OM est nulle. Il reste donc :

1° La projection de la force magnétomotrice produite par les tensions O$k$ supposées seules en jeu comme en marche synchrone. Nous savons que cette force magnétomotrice est, en fonction de OM, représentée par la courbe I de la figure 3. Nous dirons OK au lieu de OR pour ne pas établir de confusion et nous ferons une nouvelle figure (fig. 6). Si nous définissons le calage des balais par l'angle POQ $= \alpha$ la projection de cette première force magnétomotrice sur OM est OK sin $\alpha$.

2° La projection de la force magnétomotrice de réaction OS sur OM. C'est — OS sin $\varphi$.

Nous avons donc :

$$OK \sin \alpha - OS \sin \varphi = OM.$$

Soit :

$$OK = \frac{OM + OS \sin \varphi}{\sin \alpha} \qquad \text{II)}$$

$\alpha$ est donné. Supposons O S et $\varphi$ connus. Nous voulons savoir quelle est la tension aux bornes.

En traçant sur la figure 6 la droite donnée par l'équation II, nous déterminons aussitôt sur la caractéristique 1 deux points de fonctionnement A et B. Un seul est stable. C'est celui qui correspond à la valeur la plus grande de OK c'est-à-dire à la plus grande tension aux bornes du stator. Il est facile de voir que le calage des balais susceptible de donner, pour un débit OS et un décalage $\varphi$ déterminés, la plus haute tension est celui qui abaisse le plus la droite II en donnant à $\sin \alpha$ la plus grande valeur. Il correspond toujours à $\alpha = \frac{\pi}{2}$ c'est-à-dire au calage que les balais ont à vide pour la marche synchrone. Dans une dynamo shunt on a toujours le plus haut voltage en disposant les balais suivant la ligne qui est la ligne neutre à vide.

L'épure de la figure 6 à $\alpha$ constant n'est influencée que par le terme OS $\sin \varphi$. Or ce terme est proportionnel au seul débit en courants déwattés du stator. Le débit en courants wattés n'altère donc pas la tension induite aux bornes du stator si l'on ne touche pas aux balais.

Pour $\varphi = 0$ le point de fonctionnement est déterminé par la droite passant par l'origine dont le coefficient angulaire est $\frac{1}{\sin \alpha}$. *Il reste théoriquement le même quel que soit le débit.*

Déterminons maintenant le glissement.

Effectuons les projections des diverses forces magnétomotrices sur OP perpendiculaire à OM. Désignons par OG la force magnétomotrice qui serait produite par la tension due au glissement O*g*. Nous aurons :

$$OS \cos \varphi + OK \cos \alpha - OG = 0.$$

Soit :

$$OG = OS \cos \varphi + OK \cos \alpha.$$

Cette force magnétomotrice OG est proportionnelle : 1° au glissement ; 2° au flux $\frac{OM}{\mathcal{R}}$ soit à O*k* ou OK.

Le glissement lui-même est donc proportionnel à $\frac{OG}{OK}$ soit à :

$$\left[\frac{OS \cos \varphi}{OK} + \cos \alpha\right] \text{ou} \left[\frac{OS \cos \varphi \sin \alpha}{OM + OS \sin \varphi} + \cos \alpha\right].$$

Il est donc essentiellement variable avec le débit et avec $\varphi$ si l'on maintient $\alpha$ constant. C'est précisément grâce à cette élasticité procurée à l'alternateur par la possibilité d'un glissement variable que la chute de tension, pour une variation brusque de charge, serait réduite et ne se manifesterait complète, qu'après qu'on aurait touché aux balais pour rétablir le synchronisme.

L'alternateur peut donc osciller pratiquement autour de la marche synchrone ; mais il devient dès lors à fréquence variable. C'est pour cette raison qu'il est urgent de le compounder. Il convient de bien remarquer cependant que le synchronisme ne saurait être perdu qu'à un glissement près ; la marche synchrone est une marche essentiellement stable.

*La possibilité d'un glissement provient simplement de l'emploi d'un collecteur Pacinotti et d'un rotor de révolution.*

Un semblable alternateur, possédant un système inducteur excité avec des courants polyphasés au lieu de l'être avec du courant continu, peut évidemment fonctionner en moteur avec les avantages spéciaux à l'alternateur synchrone, en particulier travailler à $\cos \varphi = 1$.

Les diagrammes de fonctionnement sont ceux des figures 2, 4, 5. Il est vrai que ces diagrammes se rapportent au cas où le motenr serait surexcité. Le diagramme 4 pour un moteur correspond à une marche *au-dessous* du synchronisme, le diagramme 5 à une marche *au-dessus* du synchronisme. Quand la charge augmente, il faut dans les moteurs décaler les balais *en sens contraire du mouvement.* Le glissement s'introduit également pour des variations de charge. Pratiquement, on pourrait caler les balais de telle façon que le synchronisme fût assuré pour la pleine charge. A vide

le moteur tournerait alors au-dessus du synchronisme. On aurait par un seul réglage cos $\varphi = 1$ à toute charge.

Si on dispose des bagues à côté du collecteur comme on le fait dans les commutatrices cet alternateur pourra être naturellement transformé en machine asynchrone ordinaire dès que l'on aura levé les balais ; mais en fait il change alors de nature.

On sait qu'un moteur synchrone polyphasé peut démarrer à vide spontanément dans le sens du champ. Il en est de même de l'alternateur shunt à collecteur que je viens de décrire.

Le coefficient de self-induction et la résistance de l'enroulement d'excitation sont considérables par rapport au coefficient de self-induction et à la résistanc du stator. L'enroulement d'excitation est donc, somme toute, en court-circuit franc par l'intermédiaire des balais (fig. 1).

Au repos, les courants amenés par les balais dans le rotor, étant donnée l'impédance de l'enroulement, seraient pratiquement nuls. Les courants induits par le champ du stator dans le rotor seraient, au contraire, considérables.

L'alternateur démarrerait donc spontanément dans le sens du champ, quel que fût le calage des balais, dans les conditions d'un moteur à champ tournant sans résistances sur le rotor.

J'ai apporté plusieurs perfectionnements à cet alternateur shunt, que je viens de décrire, mais, avant d'exposer ces perfectionnements, je tiens, après la récente publication de M. Heyland, à montrer que cet alternateur n'a rien à voir, ni comme conception, ni comme exécution avec un type de moteur à collecteur, imaginé vers 1890, par M. Rothen, et qui a été construit autrefois par la maison Siemens et Halske.

Ce moteur (fig. 7) était constitué par deux anneaux. L'anneau extérieur correspondait à un stator de moteur asynchrone, l'anneau intérieur était un induit de dynamo à courant continu. Cet induit portait un enroulement établi avec des conducteurs dont la section était du même ordre de grandeur que celle des conducteurs de l'anneau fixe. M. Rotten introduisait les courants polyphasés dans le stator par 3 points fixes; dans l'induit, par 3 balais à 120°.

La circulation des courants dans le stator produit un champ tournant, la circulation des courants dans l'induit de dynamo en produit un second. L'angle de ces deux champs est réglé par le calage des balais $b_1$, $b_2$, $b_3$, par rapport aux points 1, 2, 3. Ces deux champs tendent à se couvrir. Suivant que le champ du stator précédait ou suivait le champ de l'induit de dynamo, le moteur devait démarrer dans un sens ou dans l'autre, soit dans le sens des champs, soit en sens inverse. Le moteur, grâce à l'emploi d'un collecteur Pacinotti, était donc, suivant les explications de M. Rotten, parfaitement asynchrone et avait sur les moteurs synchrones et les moteurs d'induction l'avantage de pouvoir tourner en tous sens à une vitesse indépendante de la fréquence du réseau. La rotation synchronique du champ était assurée quelle que fût la vitesse de l'induit lui-même.

Il est facile de voir que le dimensionnement de ce moteur n'était pas compatible avec le fonctionnement sensiblement synchrone de l'alternateur shunt.

L'induit de dynamo aurait brûlé au synchronisme. Il est bien certain, en effet, qu'on n'utilisait jamais, sur des distributions à 110 ou 220 volts, des induits de 5 000 ou 10 000 volts.

Réciproquement, par son dimensionnement spécial, mon alternateur shunt ne peut en aucune façon se prêter au fonctionnement du moteur de M. Rotten.

Il démarre *spontanément* dans le sens du champ, *quel que soit le calage des balais*, et il ne donne son couple normal que dans le voisinage du synchronisme. La marche, sensiblement synchrone, est une marche essentiellement stable, à laquelle il se maintient et qu'il ne peut perdre qu'à la suite d'un décrochage le ramenant au repos.

Ainsi donc, si mon alternateur shunt présente une disposition de pièces qui rappelle le moteur de M. Rotten, grâce à un dimensionnement différent, il constitue bien une machine différente. D'ailleurs, toute invention supposant un changement dans les formes ou les dimensions d'un appareil, comme lorsque ce changement a pour effet d'obtenir un résultat industriel nouveau, est, aux termes de la loi, essentiellement brevetable.

Le résultat industriel nouveau, en l'espèce, c'est la réalisation d'une machine sensiblement

synchrone, pourvoyant elle-même à sa propre excitation, sans prendre de courants déwattés sur le réseau, et dans laquelle les difficultés de commutation n'existent pas, aux harmoniques du champ près, la puissance commutée étant la puissance nécessaire à l'excitation seulement.

La propriété, industriellement exploitée par le moteur de M. Rotten, était l'asynchronisme procuré par le collecteur ; celle exploitée dans mon alternateur shunt est la propriété des anneaux à collecteur d'avoir une inductance fonction de la vitesse.

On peut également construire des alternateurs à excitation série. Mais ces alternateurs, prin-

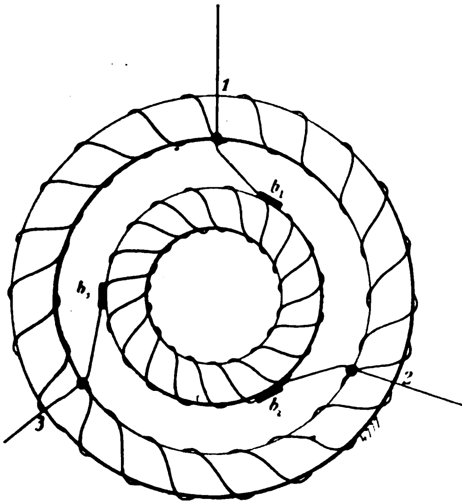


Fig. 7.

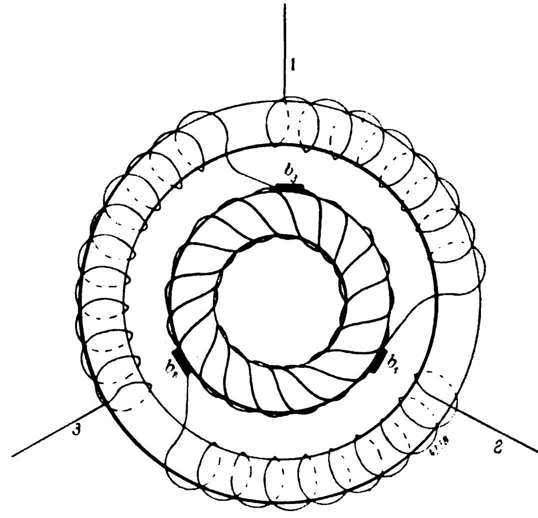


Fig. 8.

cipalement dans leur fonctionnement en moteur, ne présentent qu'un intérêt purement théorique. Ils devraient travailler sur des distributions à intensité constante, et ces distributions ne sont pas praticables en courants polyphasés.

M. Rotten met aussi dans son moteur la partie fixe et la partie mobile en série (fig. 8).

Mais encore, pour transformer ce moteur en moteur série, tel que je le conçois, serait-il indispensable de lui donner un dimensionnement convenable, de lui adjoindre un rhéostat d'excitation pour le réglage *en parallèle avec l'induit de dynamo* et de le brancher sur une distribution à intensité constante.

Quoi qu'il en soit, considérons l'ensemble constitué par cette nouvelle forme du moteur de M. Rotten : un anneau fixe en série avec un induit de dynamo.

En désignant par $a$ le rapport existant entre le champ de l'anneau fixe et le champ de l'induit ; par $\theta$, l'angle de ces deux champs (établi grâce à un certain calage des balais et compté de 0 à 360°, de façon à toujours considérer le champ du stator comme précédant celui de l'induit) ; par $\omega$, la pulsation des courants introduits ; par $\omega_1$, la vitesse angulaire de l'induit, comptée comme positive lorsque l'induit tourne dans le sens des champs, négative lorsqu'il tourne en sens contraire, on peut démontrer que l'inductance de l'ensemble considéré est proportionnelle à :

$$(1 + 2a\cos\theta + a^2)\,\omega - (1 + a\cos\theta)\,\omega_1.$$

On voit que l'inductance apparente du moteur est fonction à la fois : du calage des balais (par la valeur correspondante de $\cos\theta$) et de la vitesse $\omega_1$.

Si la relation :

$$(1 + 2a\cos\theta + a^2)\,\omega - (1 + a\cos\theta)\,\omega_1 = 0,$$

(1) Voir *L'Industrie Électrique* du 10 mars 1902, p. 101 et 102.

soit :

$$(1) \qquad \omega_1 = \omega . \frac{1 + 2a \cos \theta + a^2}{1 + a \cos \theta}$$

est vérifiée, cette inductance est nulle et le moteur apparaît, dans son ensemble, comme dépourvu de self-induction. Les conducteurs 1, 2, 3 ne fournissent plus que des courants wattés; le moteur travaille donc à $\cos \varphi = 1$. A toute valeur de $\cos \theta$, positive ou négative, correspond toujours une vitesse $\omega_1$, positive ou négative, susceptible d'établir ce fonctionnement. Mais cette vitesse n'a évidemment rien à voir avec le synchronisme dans le sens des champs. Le fonctionnement à $\cos \varphi = 1$ peut se produire soit lorsque l'induit tourne en sens inverse des champs, soit lorsqu'il tourne dans leur sens à une vitesse qui ne dépend que de $\cos \theta$ et de $a$.

Le phénomène auquel fait allusion M. Heyland est donc bien autrement général que ne l'indique et le conçoit cet auteur [1].

Au point de vue strict, la propriété *générale* des anneaux à collecteur d'avoir une inductance nulle au synchronisme et négative au-dessus est une chose, la propriété *particulière* du moteur série de M. Rotten d'apparaître éventuellement comme dépourvu dans son ensemble de self-induction est une autre chose.

Pour vérifier la première propriété il fallait, somme toute, faire des essais sur un anneau à collecteur isolé.

La deuxième propriété a été expérimentalement constatée par M. Görges au cours d'essais exécutés avec des méthodes personnelles sur un moteur à collecteur série dont les condition de fonctionnement $\omega_1$ et $\cos \theta$ vérifiaient fortuitement la relation (I). Cette deuxième propriété se manifeste au synchronisme et lorsque l'induit tourne *en sens inverse* des champs c'est-à-dire pour $\omega_1 = -\omega$ si les balais sont calés de telle façon que $\cos \theta = -\frac{2 + a^2}{3a}$.

Le moteur tourne bien en sens inverse des champs si $\pi < \theta < \frac{3\pi}{2}$.

Elle se manifeste au synchronisme et lorsque l'induit tourne *dans le sens* des champs c'est-à-dire pour $\omega_1 = \omega$ si les balais sont calés de telle façon que $\cos \theta = -a$.

Le moteur tourne bien dans le sens des champs si $\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$.

Pour que la relation $\cos \theta = -a$ puisse être vérifiée, il faut absolument $a < 1$; ce qui signifie que le champ de l'induit doit l'emporter sur le champ de l'anneau fixe. C'est au dimensionnement du moteur d'assurer cette condition. Un dimensionnement de cette nature avait été réalisé exceptionnellement et de façon fortuite parmi les moteurs soumis aux essais de M. Görges. Il ne s'en suit pas cependant que le phénomène ait été constaté *exactement* au synchronisme.

Mais il est à remarquer que, tandis que dans le moteur où la partie fixe et la partie mobile sont montées en parallèle (fig. 7), la marche sensiblement synchrone dans le sens des champs et la marche asynchrone en tous sens sont incompatibles. Dans le moteur où ces deux parties sont mises en série (fig. 8) les deux fonctionnements ne s'excluent en aucune façon.

Le cas de la marche synchrone a donc pu, dans cette deuxième forme du moteur, être envisagé et expérimenté. Les diverses observations de M. Görges étaient déjà très intéressantes à ce sujet et M. Heyland a bien fait de les rappeler. Mais, étant donnée la haute compétence universellement appréciée de M. Görges, on ne saurait précisement mettre en doute aujourd'hui qu'il y ait eu un mérite d'inventeur à atteindre la conception des machines objet de mes brevets, plus particulièrement celle des alternateurs shunt et compound.

Revenons à l'alternateur shunt de la figure 1.

Si nous disposons des résistances égales $\rho$ entre les $n$ lames du collecteur du rotor c'est-à-dire

---

[1] M. Heyland a tort de considérer mon article paru dans *L'Éclairage Électrique* du 26 novembre 1901, et dans lequel je n'avais pour mes calculs qu'un simple anneau à ma disposition, comme une « théorie très détaillée » de ce moteur.

si nous mettons un rhéostat en parallèle avec le circuit d'excitation et entraîné avec lui, tout se passe comme si nous disposions une résistance égale à $\frac{n\rho}{3}$ entre les balais deux à deux, soit, en fin de compte, comme si nous faisions débiter le réseau sur un certain rhéostat.

*Les diagrammes 2, 4 et 5 sont identiques, qu'il y ait ou non des résistances entre lames.* La grandeur de ces résistances n'intervient en aucune façon et est indifférente au même titre que la résistance des lampes branchées sur le réseau. Nous devons donc envisager un collecteur avec résistances entre lames simplement comme un *collecteur à fuites*. Les fuites accroissent uniquement le débit de l'alternateur.

Ce n'est pas à dire que la présence des shunts entre lames soit dépourvue d'intérêt. Ils sont, en effet, un moyen sûr d'éviter les étincelles lorsqu'on consent à les rendre assez faibles. Le transport d'électricité représenté par l'étincelle prendra naturellement le chemin du shunt entre lames dès que ce shunt sera de résistance assez faible. C'est ainsi que, dans les alternateurs auto-excitateurs possédant un collecteur simple pour redresser le courant alternatif, on place un shunt entre les deux lames. Si ces shunts étaient disposés dans un collecteur de dynamo à courant continu ou dans le collecteur des moteurs de M. Rotten fait spour marcher à une vitesse quelconque, il est bien évident qu'il y aurait là une cause de déperdition d'énergie considérable et que l'on ne pourrait pas par suite appliquer ce procédé. Il n'en est plus de même lorsque le collecteur est situé sur un système inducteur comme dans mon alternateur shunt. M. Heyland a également proposé dans son brevet du 11 juillet 1901 « Dispositifs pour la suppression des étincelles dans les machines à collecteur » de mettre des enroulements en court-circuit sur la partie qui porte le collecteur pour éviter les étincelles. Ce dispositif ne peut donner de bons résultats que dans les machines à collecteur constituées par mes alternateurs sensiblement synchrones. Une cage d'écureuil sur un induit de dynamo à courant continu ou sur un moteur de Rotten serait le siège de courants énormes et brûlerait.

M. Heyland expose la théorie des machines, objet de ses publications, avec une excitation en courant alternatif simple quitte à faire ensuite pratiquement l'excitation avec des courants triphasés.

Mais le cas du courant alternatif simple et des courants polyphasés sont cependant ici, comme partout en électrotechnique, radicalement distincts et il convient de ne pas établir de confusion.

Si l'on envoie un courant alternatif simple dans un anneau à collecteur par 2 balais à 180° et, que l'on lance l'anneau dans un sens arbitraire, car le synchronisme n'est plus défini quant au sens, les effets de self-induction persistent. En effet, le courant alternatif simple donne lieu à un *champ alternatif* $\Phi_{max} \sin \omega t$ suivant la ligne des balais. Ce champ alternatif correspond à *deux* champs tournants $\frac{\Phi_{max}}{2}$ tournant en sens inverse l'un de l'autre avec la vitesse $\omega$. Au synchronisme l'un de ces champs devient bien fixe par rapport à l'anneau, mais l'autre est au contraire animé d'une vitesse relative $2\omega$ par rapport à l'anneau et entretient les effets de self-induction. Pour retomber dans le cas des courants polyphasés il faut amortir les effets de ce champ et il est alors indispensable de disposer des court-circuits polyphasés sur l'anneau. C'est ce que réalisent *approximativement*, les shunts entre lames de M. Heyland.

Mais l'excitation en courant alternatif simple semble dépourvue d'intérêt et il n'y a guère lieu de l'envisager.

Marius LATOUR.

---

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## MOTEURS

***Indicateur mécanique de glissement pour les moteurs asynchrones***, par **E. Ziehl**, de Berlin, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 1026, 12 décembre 1901.

L'appareil est représenté en coupe dans la figure 1.

Il se compose de deux compte-tours, de construction ordinaire bien connue, disposés de telle sorte que l'arbre du compte-tours A, est solidaire du bâti du compte-tours B, lequel bâti est construit en conséquence, suivant une surface de révolution. Les deux compte-tours sont portés par un collier formant deux poignées C : le collier G, sert à soutenir plus efficacement le compte-tours à bâti tournant B. Le collier C porte en outre un arbre F, qui pendant la mesure est accouplé directement à l'arbre du compte-tours A, par la pointe E, et le ressort D, quand on presse la pointe E contre l'arbre F.

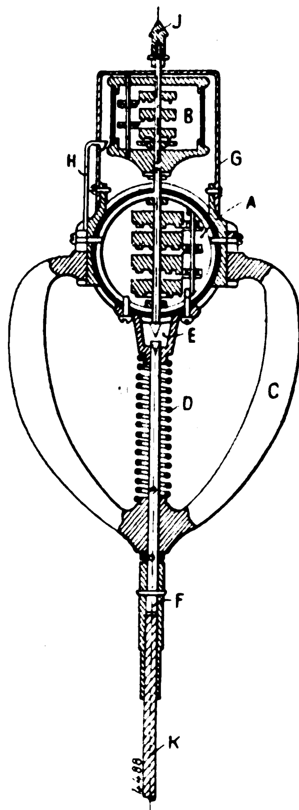



Fig. 1. — Indicateur de glissement.

L'arbre F tourne à la vitesse du synchronisme; il est en effet relié par l'intermédiaire d'un flexible K, soit à l'alternateur générateur, soit à un petit moteur synchrone commandé par le réseau. Si maintenant on enfonce la pointe J dans l'arbre du moteur asynchrone à étudier, on voit que le compte-tours A indiquera le nombre de tours faits par l'arbre flexible, c'est-à-dire l'alternateur ou le moteur synchrone, tandis que le compte-tours B marquera la différence entre les nombres de tours du moteur synchrone et du moteur asynchrone; si on relève ces nombres pendant une minute, et si l'on suppose que les moteurs comparés synchrones et asynchrones ont le même nombre de pôles $2p$, la lecture $n_1$ faite au compte-tours A, indiquera la vitesse du synchronisme, la lecture $n_2$ sur B, le glissement en tours par minute.

Quant à la fréquence $f$, au glissement $g$ en p. 100 de la vitesse du synchronisme, et à la vitesse $n$ en tours par minute du moteur asynchrone, ils seront donnés par les formules :

$$f = \frac{p}{60} n_1,$$

$$g = 100 \frac{n_2}{n_1},$$

$$n = n_1 - n_2.$$

Dans le cas général où les moteurs synchrone et asynchrone ont respectivement des nombres de pôles $2p_1$ et $2p_2$, les relations sont les suivantes :

$$f = \frac{p_1}{60} n_1, \qquad n = n_1 - n_2,$$

comme précédemment; et de plus

$$n = f \frac{100 - g}{100} \frac{60}{p_2} = \frac{p_1}{p_2} \frac{100 - g}{100} n_1,$$

d'où en portant dans l'égalité précédente

$$\frac{p_1}{p_2} \frac{100 - g}{100} n_1 = n_1 - n_2,$$

ce qui donne en résolvant par rapport à $g$, l'expression du glissement en p. 100 de la vitesse

du synchronisme :

$$g = 100 \left[ 1 - \frac{p_2}{p_1} \frac{n_1 - n_2}{n_1} \right].$$

Dans ces formules, $n_2$ est susceptible d'un signe : il doit être pris positif lorsque le nombre de tours du compteur A est supérieur à celui du compteur B ; par suite le sens positif de rotation doit être alors considéré en sens différent sur les deux compteurs. Si les deux compteurs sont numérotés dans le même sens, il faut dans les formules changer $n_2$ en $-n_2$.

Détail mécanique intéressant : pour éviter que par suite de la grandeur appréciable de son moment d'inertie, l'ensemble formé par l'arbre du compteur A et le bâti du compteur B continue à tourner après l'arrêt de la mesure, on a disposé un frein H, relié au ressort F, et qui agit sur le bâti du compte-tours B, dès que l'on a retiré la pointe J de l'arbre du moteur à étudier.

L'indicateur de glissement peut servir de compte-tours ordinaire, quand on fixe l'arbre H ; on a alors $n = -n_2$.

L'appareil a été construit par la maison : Berliner Maschinen-Bau A.-G., autrefois L. Schwartzkopff, d'après les données de l'auteur, et fonctionne très bien.

A. M.

***Mesure du glissement des moteurs à courant triphasé***, par **L. Schüler**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 4 novembre 1897, t. XVIII, page 677 (1).

Parmi les essais auxquels on soumet un moteur triphasé, une fois sa construction terminée, la détermination du glissement joue à juste titre un rôle prépondérant ; et, bien que cette recherche soit une des plus simples, elle met souvent à une dure épreuve la patience de l'observateur: une nouvelle méthode pour la mesure du glissement peut donc présenter quelque intérêt.

Habituellement, dans l'évaluation du glissement, on s'arrange de manière à mesurer en même temps le nombre de tours du moteur et de la machine primaire ; si nous désignons par $n_1$ et $p_1$ le nombre de tours et le nombre de pôles de l'alternateur, et par $n_2$ et $p_2$ les quantités correspondantes pour le moteur, le glissement est exprimé par la formule :

$$s = 1 - \frac{n_2 p_2}{n_1 p_1}.$$

Cette méthode, autant qu'elle est applicable, ne donnerait lieu à aucune objection s'il n'était pas si difficile de mesurer très exactement, au moyen des instruments usités dans la pratique, le nombre de tours exact d'une machine à grande vitesse ; en réalité, on ne peut dépasser que dans des cas très rares, une approximation de $\pm$ 1 p. 100 ; or, comme le glissement des moteurs usuels n'est habituellement que de 4 à 6 p. 100, dans les limites d'exactitude indiquées pour la mesure du nombre de tours, le résultat final peut s'écarter jusqu'à 50 p. 100 de la valeur réelle, et, lors de l'essai d'un moteur marchant à faible charge, l'erreur peut même aller facilement jusqu'à 100 p. 100 et plus.

On est même amené à renoncer à cette méthode imparfaite, lorsque, comme tel est souvent le cas, le courant est fourni non pas par une génératrice placée dans le local où se font les essais, mais par une station centrale plus ou moins éloignée. Comme on dispose rarement d'un moteur synchrone, on se tire le plus souvent d'affaire, dans ce cas, en déterminant le nombre de tours d'un autre moteur tournant à vide, et par conséquent presque synchrone, et en considérant le produit de ce nombre de tours par le nombre de pôles du moteur auxiliaire, comme égal au nombre d'alternances. Abstraction faite de ce qu'il est des cas où l'on ne dispose même pas d'un second moteur, l'exactitude de la mesure est encore diminuée par le glissement propre du moteur auxiliaire.

L'avantage du procédé exposé ci-dessous réside donc, en un mot, en ceci qu'on ne détermine plus séparément le nombre de tours théoriques du moteur $\left(\frac{\text{nombre d'alternances}}{\text{nombre de pôles}}\right)$ pour en déduire le glissement, mais qu'on obtient directement le rapport de ces deux valeurs, et par conséquent le glissement, au moyen d'un appareil construit spécialement dans ce but.

M. Schüler utilise pour cela un disque de Joubert, disque fait d'une substance isolante portant en un point de sa périphérie un contact métallique étroit, auquel on peut, au moyen d'une

(1) La publication récente de la description de l'appareil de M. Ziehl, nous a engagé à donner en même temps un résumé d'articles plus anciens, relatifs au même sujet et dus à M. Schüler et à M. Ziehl.

bague de contact, envoyer du courant, et qui, pendant la rotation du disque, vient une fois par tour buter contre un ressort appuyant sur le disque.

Le disque est mis en mouvement par l'arbre du moteur triphasé soumis à l'essai, au moyen d'un renvoi dont le rapport des vitesses peut varier dans les limites de 100/100 à 100/110. Si on relie maintenant le contact mobile à une des bornes du moteur, et le balai-ressort à une autre borne du moteur après interposition d'une résistance, à chaque tour du disque il se produit une étincelle au contact mobile, étincelle dont l'intensité reste constante lorsque le nombre de tours du disque est égal au nombre d'alternances divisé par un nombre entier, par conséquent égal au nombre de tours théorique du moteur.

Si le nombre de tours du disque s'écarte de cette valeur, l'étincelle s'affaiblit peu à peu et disparaît complètement, pour atteindre de nouveau son maximum, de façon analogue à ce qui se passe pour une lampe de phase. On peut supprimer ces oscillations en changeant progressivement le rapport du renvoi dont il a été question.

Désignons maintenant par $n_3$ le nombre de tours du disque dans le cas où l'étincelle conserve une intensité constante; $n_3$ est, dans ce cas, égal au nombre d'alternances $z$ divisé par un nombre entier; mais comme $n_3$ ne peut pas s'écarter beaucoup du nombre de tours du moteur, ce nombre entier doit être égal au nombre de pôles du moteur, donc

$$n_3 = \frac{z}{p_2} \qquad z = n_3 p_2.$$

Le glissement du moteur est donc exprimé par

$$s = 1 - \frac{n_2 p_2}{n_3 p_2} \qquad = 1 - \frac{n_2}{n_3}.$$

Mais comme $\frac{n_2}{n_3}$ est la valeur du rapport du renvoi dont il a été question plusieurs fois dans ce qui précède, la dernière équation donne une mesure directe du glissement.

Le premier appareil, construit sur ce principe par l'auteur, était disposé de telle sorte qu'un cône $b$ (fig. 1) monté sur un axe porté par le cadre $a$ était mis en mouvement par l'arbre du moteur par l'intermédiaire d'une pointe triangulaire $c$ appuyant sur le noyau de cet arbre. La bague de friction $d$, qui roule sur le cône, imprime un mouvement de rotation à un petit disque de Joubert $e$ qui peut être déplacé sur un arbre $g$ parallèlement à la génératrice du cône, en même temps que les ressorts de contact qui frottent sur le disque; ce déplacement, qui s'effectue au moyen de la vis $f$, modifie naturellement le rapport des vitesses entre le cône et le disque.

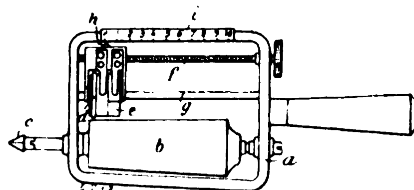



Fig. 1.

Lorsqu'on a trouvé pour ce dernier une position pour laquelle l'étincelle qui se produit au contact mobile conserve une intensité constante, l'index $h$ indique sur l'échelle $i$ le glissement en p. 100.

Comme il était impossible d'empêcher le glissement de la bague de friction sur le cône, M. Schüler a construit un deuxième appareil tout à fait semblable comme principe au premier, mais qui, à la place de la bague de friction, porte une roue dentée de 100 dents, tandis qu'à la place du cône sont montées, sur l'arbre mû par le moteur, 10 roues dentées avec des nombres de dents de 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109. La mesure du glissement avec cet instrument se fait en amenant successivement chacune de ces dix roues dentées, en commençant par la plus petite, à embrayer avec la roue dentée reliée au disque de Joubert, jusqu'à ce que des variations d'intensité de l'étincelle se succèdent assez lentement pour qu'on puisse commodément les compter. Si ce fait se produit au moment où la roue 6 (de 105 dents) par exemple, est embrayée et que l'on compte 30 maxima d'intensité de l'étincelle par minute, on a (pour environ 6 000 alternances par minute) un glissement de 5,5 p. 100. En pratique, on se dispense même de compter le nombre de maxima, et on se contente du nombre entier de p. 100, ou bien on évalue la partie fractionnaire d'après la rapidité des variations d'intensité de l'étincelle, opération pour laquelle on acquiert bientôt une grande habitude.

L'instrument ci-dessus décrit n'a pas la prétention de servir de modèle; mais l'impression de M. Schüler est qu'il serait possible de construire, d'après cet appareil prototype, un appareil qui, semblable comme forme et comme dimensions à un tachymètre usuel, pourrait rendre de précieux services dans un champ d'essais. G. Roesch.

***Mesure du glissement des moteurs asynchrones***, par **Georg. Seibt**, Charlottenburg. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 194, 28 février 1901.

Les difficultés qui s'opposent à la mesure exacte du glissement des moteurs asynchrones ont déjà été examinées à fond précédemment. M. Schüler arrive à cette conclusion que l'exactitude des compteurs usuels ne permet pas de calculer le glissement d'après la différence des vitesses observées à la génératrice et au moteur, car un pourcentage, même insignifiant, d'erreur dans l'indication de la vitesse, peut avoir comme conséquence un écart considérable entre la valeur exacte du glissement et celle à laquelle on arrive par le calcul.

Cette observation a conduit M. Schüler [1] à construire un appareil permettant de suppléer, de manière ingénieuse, à l'insuffisance de la méthode différentielle. Mais, en utilisant cet appareil, on est amené à faire une estimation entre deux lectures, de telle sorte que la solution de la question ci-dessus ne peut pas être considérée comme satisfaisante.

Pour étudier complètement le phénomène du glissement, il est tout indiqué de faire servir directement à la mesure de ce phénomène un de ses effets particuliers. Le courant de l'induit, dans les induits munis de bagues, offre un moyen commode d'atteindre ce but. Dans un ampèremètre à simple déviation, connecté entre deux bagues, l'aiguille oscille de part et d'autre de la position moyenne à laquelle elle s'arrêterait pour un nombre de périodes plus grand et pour une même valeur effective du courant, en synchronisme avec les alternances du courant de l'induit, de telle sorte qu'on peut calculer le glissement $\sigma$ d'après le nombre des oscillations complètes $z$ et du temps correspondant $t$

$$\sigma = \frac{z}{2tv},$$

formule dans laquelle $v$ désigne le nombre de périodes du courant primaire.

Comme l'œil de l'observateur peut suivre, sans difficulté, 150 oscillations par minute, la possibilité d'employer cette méthode s'étend jusqu'à un glissement d'environ 2,5 p. 100, pour une fréquence $v = 50$ au primaire. L'étendue de la mesure peut toutefois être doublée si l'on emploie un instrument dans lequel le sens de la déviation change avec l'alternance du courant, par exemple un voltmètre de précision genre Deprez et d'Arsonval, qu'on connecte au câble reliant deux bagues.

Par sa nature même, la méthode décrite n'est applicable qu'à des induits munis de bagues; elle est de plus, par le temps qu'elle nécessite, très fatiguante pour l'observateur, de la part de qui elle exige une attention soutenue.

Le procédé suivant, d'après lequel on produit artificiellement un courant alternatif de même périodicité que le courant de l'induit, est essentiellement plus simple, et s'applique aussi aux induits en court-circuit.

Pour faire comprendre le principe de cette méthode, supposons placé, dans le circuit d'une lampe à incandescence alimentée par du courant à la même tension que le moteur en question, un interrupteur quelconque, qu'on ouvre et ferme en synchronisme avec les alternances du courant alternatif. Dans ce cas, la lampe brûlera d'une façon permanente avec un certain éclat, ou restera éteinte, selon que, pendant la fermeture du circuit, la tension sera dans le voisinage de son maximum, ou de zéro. Comme interrupteur, on pourrait employer un disque de Joubert fixé sur l'arbre de la génératrice, ou sur l'arbre d'un moteur synchrone. Toutefois, si l'on monte l'interrupteur sur l'arbre du moteur en expérience, les contacts ne se produiront plus en synchronisme avec les alternances de tension, à cause du glissement du moteur. Si l'on choisit, comme origine des observations, un instant où la fermeture du circuit et le maximum de tension coïncident, la valeur de la tension sera plus faible lors du contact suivant, et ainsi de suite. Le point de départ sera atteint lorsque le moteur sera en retard de $\frac{1}{p}$ tour ($p$ = nombre de paires de pôles). Pendant ce temps, un courant alternatif de même fréquence que le courant de l'induit, et bien des fois interrompu, traverse la

(1) Voir l'analyse ci-dessus.

lampe à incandescence ; car, pour alimenter cette dernière, on a coupé un morceau de la courbe de tension après l'autre en partant du maximum positif, passant par zéro et le minimum et retournant jusqu'au maximum positif. Un double allumage de la lampe correspond donc à un retard du moteur de $\frac{1}{p}$ tour. Si l'on observe alors $y$ battements de la lumière pendant une minute, il en résulte que, pendant une minute, le moteur retarde de

$$n_g - n_m = \frac{y}{2p}$$

$n_m$ désignant le nombre de tours du moteur, et $n_g$ celui d'une génératrice réduite au même nombre de pôles.

Il en résulte pour le glissement la valeur

$$\sigma = \frac{n_g - n_m}{n_g} = \frac{y}{2pn_g}.$$

Pour éviter l'observation pénible des temps, on peut adopter un dispositif permettant de compter le nombre de tours du moteur en même temps qu'on observe la lampe. Pour atteindre ce but, l'interrupteur mentionné plus haut est monté sur l'arbre d'un petit tachymètre à main dont on appuie la pointe triangulaire contre le noyau de l'arbre moteur. Si l'on observe alors pendant un temps quelconque $y$ battements de la lampe et $n_m$ révolutions, on obtient le glissement :

$$\sigma = \frac{\frac{y}{2p}}{n_m + \frac{y}{2p}} = \frac{y}{2pn_m + y}.$$

Il vaut mieux remplacer la lampe par un voltmètre ou encore par un appareil télégraphique Morse qui enregistre automatiquement le nombre des alternances.

Les traits inscrits sur la bande de papier par le récepteur Morse correspondent alors aux battements de la lampe. A une fréquence de 50 périodes par seconde, on peut mesurer des glissements jusqu'à environ 7 p. 100; on peut aisément doubler l'étendue de la mesure en polarisant le récepteur Morse au moyen d'un courant continu d'intensité convenable. Il n'est pas besoin, dans ce but, d'un électro-aimant spécial ; il suffit de relier les bornes de l'appareil aux pôles d'un élément de pile, en intercalant un rhéostat de réglage.

Ce procédé est adopté depuis quelque temps par le laboratoire électrotechnique de l'École polytechnique de Charlottenburg, dans la forme décrite ci-dessus. G. Roesch.

## MESURES

***Sur l'emploi du wattmètre-phasemètre***, par le Pr **Arno**. *L'Elettricista*, 1er novembre 1901, t. X, p. 252.

Dans une distribution triphasée équilibrée (fig. 1), considérons un montage étoilé OA, OB,

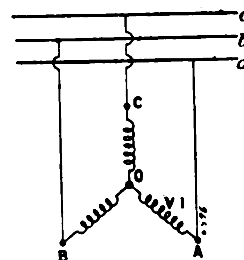


Fig. 1.

OC. En montant un wattmètre sur le circuit OA on aura une indication

$$VI, \cos\varphi = W = k.d.$$

Si on place le fil fin entre BC, la puissance indiquée sera

$$\sqrt{3}.VI \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = K.d'$$

d'où

$$VI \sin\varphi = \frac{K}{\sqrt{3}} d',$$

et par suite

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{d'}{d}$$

$d$, $d'$, étant les lectures de l'instrument. L'instrument sera donc muni de deux échelles correspondant aux valeurs VI cos $\varphi$ et VI sin $\varphi$, cette dernière se déduisant de la première en multipliant les divisions par $\frac{1}{\sqrt{3}}$.

Mais quand il s'agit de circuits à haute tension, la différence de potentiel entre les deux circuits du wattmètre sera au moins égale à la tension V multipliée par $\frac{\sqrt{3}}{2}$, valeur qui sera

réalisée quand on disposera deux résistances additionnelles égales entre le circuit à fil fin et chacun des conducteurs $b$ et $c$.

Pour remédier à cet inconvénient, il suffit, pour la mesure des puissances VI sin $\varphi$, de substituer à la différence de potentiel entre B et C, les deux différences de potentiel entre B et A, et entre A et C, et dans ce but, de se servir de deux circuits à fil fin insérés (fig. 2) respectivement entre les conducteurs $b$ et $a$, et entre $a$ et $c$, avec une résistance additionnelle R.

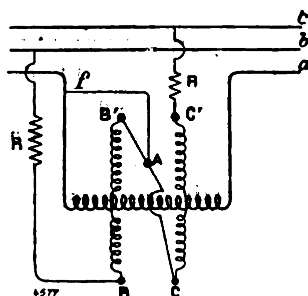



Fig. 2.

Les deux extrémités des circuits à fil fin, B' et C', réunies au point A seront connectées au conducteur $a$ au moyen d'un fil flexible $f$ (fig. 2), tandis que les extrémités B et C' sont reliées à travers les résistances R à $b$ et à $c$.

La composition des différences de potentiel entre $b$ et $a$ et entre $a$ et $c$ donne bien comme résultante la différence de potentiel entre $b$ et $c$.

Mais, d'autre part, la résultante des différences de potentiel entre $b$ et $a$ et entre $c$ et $a$

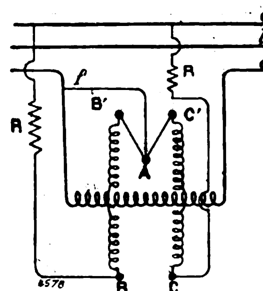



Fig. 3.

n'est autre que la différence de potentiel entre $a$ et le point neutre O, multipliée par 3.

Il en résulte qu'en interchangeant les connexions des extrémités de l'un des circuits à fil fin, CC' par exemple (fig. 3), l'instrument indiquera directement la puissance du système étoilé O A, OB, OC.

P.-L. C.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS (1)

### Section de Londres

*Séance du 21 novembre 1901*

La séance débute par le ***Discours d'inauguration*** du président **William Langdon**. Dans ce discours, l'auteur, après avoir succinctement rappelé la révolution apportée dans les relations commerciales, par les découvertes électriques du siècle dernier (télégraphe, téléphonie, tramways), esquisse les résultats que l'on est en droit d'attendre du développement des tramways électriques urbains et extra-urbains et surtout de la substitution de la traction par l'électricité à la traction par la vapeur, sur les grandes lignes de chemins de fer; il examine ensuite les conditions nouvelles dans lesquelles se trouve la petite industrie, par suite de l'extension croissante des réseaux de distribution de l'énergie par l'électricité.

*Séance du 28 Novembre 1901*

M. **Charles V. Drysdale** fait une communication dans laquelle il décrit un ***perméamètre pour l'essai des qualités magnétiques des matériaux en vrac;*** cette communication sera prochainement analysée par notre collaborateur M. H. Armagnat, en même temps que quelques travaux récents sur les essais magnétiques ; nous ne faisons donc que la signaler.

L'ordre du jour appelle ensuite la communication sur les :

(1) D'après le fascicule 151 du *Journal of the Institution of Electrical Engineers* publié en février 1902.

***Alliages et conducteurs en aluminium***, par **E. Wilson**, *Journal of the Inst. of El. Eng.*, t. XXXI, p. 321 à 328.

L'aluminium le plus pur du commerce contient environ 0,4 p. 100 de fer et de silicium ; c'est donc un alliage. L'auteur présente des tables résumant les essais faits sur un échantillon (0,31 p. 100 de Fe, 0,14 p. 100 de Si) d'aluminium en fil de 3,2 mm. 1° à la réception, 2° recuit à 100° C. et 3° à 430° C. dans l'huile. Dans le premier état, il n'y a pas d'allongement permanent au-dessous de 11,26 kg par $mm^2$ ; le recuit altère les propriétés élastiques. Le coefficient de dilatation est à peu près constant de 18° à 100°, ($\alpha = 0,0000\,232$) ; à poids égal, la résistivité est double de celle du cuivre ; à longueur égale de conducteur, pour un même courant et une même perte d'énergie, les poids relatifs du cuivre et de l'aluminium sont 1 et 1/2 ; le diamètre du fil d'aluminium est 1,27 fois celui du cuivre. Nous citerons la moyenne de quelques autres résultats ; ainsi, le poids spécifique est 2,715, le coefficient de température est 0,00402, la charge de rupture est de 19,5 kg par $mm^2$, à la réception et un peu plus de la moitié de cette valeur après recuit à 430° C.

L'auteur donne ensuite des tables résumant les propriétés de différents alliages, avec leur composition chimique et étudie l'influence des diverses impuretés, autres que le fer et le silicium. Une proportion de 1,5 à 2 p. 100 de cuivre, élève la charge de rupture à 28 kg par $mm^2$, et la résistivité de 2,76 à 3,3 microhms-cm. Le zinc au-dessous de 2 p. 100 ne modifie pas beaucoup les propriétés de l'Al. Avec 1,29 de Ni et 1,08 de Cu p. 100, la charge de rupture monte à 32,3 kg par $mm^2$ et la résistivité à 3,41 microhms-cm. L'auteur termine par quelques observations sur l'emploi de l'aluminium comme conducteur aérien, entre autres, sur l'influence de la température, sur la tension des fils, sur les effets du vent et des agents chimiques de l'atmosphère. P.-L. C.

### Section locale de Birmingham

*Séance du 28 novembre 1901*

La session est ouverte par un discours :

***Sur la self-induction*** ; par **Olivier Lodge**, *Journal of the Instit. of El. Eng.*, t. XXXI, p. 366-70.

Après avoir fait l'historique et montré l'importance de la notion de self-induction, M. Lodge fait observer que cette grandeur n'est pas une longueur, mais $\mu$ fois une longueur, comme le montre l'expresssion connue $L = 4\pi n^2 \mu \frac{S}{l}$. De même, on a tort de dire, pense l'auteur, que la capacité est une longueur, et la résistance, une vitesse. Ce ne sont pas là des grandeurs mécaniques. La résistance est $\mu X$ fois une vitesse et la capacité $kX$ fois une longueur. On ignore malheureusement et la valeur numérique et même la nature de $\mu$ ; l'orateur croit que c'est une densité et qu'on doit l'exprimer en grammes par $cm^3$. La self-induction n'est pas une propriété des conducteurs, mais du courant, et, pour mieux dire, de l'espace environnant, et l'on a pris, faute de mieux, pour unité les valeurs de $\mu$ et $k$ dans l'air.

Parmi les trois formes de l'énergie électrique, il n'en est pas une seule qui dût être appelée électrique. En effet, l'énergie d'un condensateur $\frac{1}{2} Q^2 C$ est analogue à celle d'un ressort, l'énergie dépensée par effet Joule est semblable à celle due au frottement, et l'énergie cinétique $\frac{1}{2} LI^2$ est analogue à l'énergie due à la force vive $\left(\frac{1}{2} mv^2\right)$. Ainsi, par exemple, $I^2$ est mesuré par une force divisée par $\mu$ ; donc $\frac{1}{2} LI^2 = \mu \times$ longueur $\times$ force $\times \frac{1}{\mu}$ = longueur $\times$ force = travail.

L'auteur examine ensuite trois constantes de temps.

1° La perte de charge d'un condensateur dépend du temps. $T = CR = (k \times \text{une longueur})(\mu \times \text{une vitesse})$ ce qui est véritablement un temps, car $k\mu$ est l'inverse du carré d'une vitesse $\left(k\mu = \frac{1}{v^2}\right)$, comme l'a montré une des plus brillantes découvertes de Maxwell.

2° Dans l'expression $I = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{L}{R}.t}\right)$, $\frac{L}{R}$ s'exprime en secondes si L l'est en henrys, et R en ohms. La loi de variation de I est tout à fait analogue à l'inertie.

3° La période d'oscillation libre des décharges d'un condensateur sur un circuit de faible résistance est $2\pi\sqrt{CL}$ et les amplitudes s'amortissent

suivant la formule connue $Q = Q_0 . e^{-\frac{t}{CR}} \cos \frac{t}{\sqrt{CL}}$ Les circuits ayant de la capacité et une résistance assez faible ont une période d'oscillation propre qui peut coïncider avec celle des oscillations forcées sur le circuit, et en accentue considérablement les effets.

Ces considérations conduisent M. Lodge à se demander si l'électricité n'est pas une substance possédant de l'inertie, comme la matière ; ou si, au lieu d'expliquer les phénomènes électriques par des hypothèses mécaniques, on ne doit pas chercher à expliquer, par l'électricité, les lois de Newton sur le mouvement. L'inertie électrique est un fait, et l'orateur se demande s'il peut y avoir deux espèces d'inertie. Au moyen du tube à vide, il a montré que l'électricité en mouvement a une énergie cinétique et un moment d'inertie ; cette énergie se transforme, en effet, en chaleur par le choc des électrons sur les plaques de platine. Tout cela tendrait à prouver que la self-induction se réduit à une simple inertie mécanique et que les recherches du xx$^e$ siècle tendront plutôt à développer qu'à contredire les idées de Franklin à ce sujet. P.-L. C.

### Section locale de Calcutta

*Séance du 29 mars 1901*

***Isolation des conducteurs dans les Indes,*** par **K. A. Scott-Montcrieff.** *Journal of the Inst. of El. Eng.* t. XXXI, p. 371-387.

Le développement futur de l'électricité en Extrême-Orient fait de cette communication un sujet d'actualité. Les lignes électriques s'y trouvent dans des conditions spéciales (chaleur humide, vapeurs salines, etc), et leur établissement demande des précautions particulières. Les lignes aériennes à conducteurs nus fonctionnent d'une façon satisfaisante avec les isolateurs ordinaires du télégraphe. Les lignes aériennes à haute tension sont aussi isolées au caoutchouc et supportées par un fil en acier à l'aide d'attaches en porcelaine ; elles se comportent très bien, malgré un soleil brûlant et des pluies fines persistantes. Quant aux canalisations souterraines, il y en a encore peu d'exemples. En 1851, une ligne télégraphique souterraine fut posée entre « Diamond Harbour » et Calcutta ; le conducteur nu était placé dans un conduit en poterie et recouvert d'un mélange de sable et de résine, mais le tassement du sol et les efforts dus aux racines des arbres la firent abandonner. Des conducteurs isolés au caoutchouc et tirés dans des tubes de fer ne paraissent pas très appropriés au climat; d'autres, placés dans des conduits en bois de teck, durent également être rejetés, ce bois se trouvant attaqué par les fourmis blanches. L'auteur indique, comme obstacles à surmonter, l'humidité excessive, la chaleur, l'action destructive du sol sur les enveloppes en plomb, le manque d'ouvriers expérimentés. Il a adopté des conducteurs isolés en bitume vulcanisé et soutenus par des traverses en bois dans des conduits en fer remplis de bitume.

Quant aux installations intérieures, l'humidité est si pernicieuse que l'on trouve des interrupteurs, des coupe-circuits, etc... détruits par l'électrolyse, et que l'on reçoit des commotions en touchant des manettes d'appareil en ébonite, mais les conducteurs eux-mêmes isolés avec un peu de caoutchouc pur, un guipage de coton et une tresse se comportent assez bien, et les accidents qui se présentent sont dus à l'action combinée de l'humidité et de la chaleur, et au défaut de ventilation. Le plomb doit être rejeté pour le sol, mais on l'emploie dans les habitations et les navires, en même temps que des tubes que l'auteur appelle *compo*.

En ce qui concerne les dynamos et les moteurs, il ne pense pas que des précautions spéciales soient nécessaires. Les accidents se rencontrent surtout dans les moteurs de ventilateurs. qui sont, la plupart du temps, mal construits et mal surveillés. Enfin, pour les instruments de mesure, compteurs, etc., les bobines à fil fin doivent être mieux isolées; l'auteur en a rencontré un grand nombre, détruites par le fait de l'humidité. P. L. C.

***Notes sur les lignes aériennes,*** par **O. Burne.** *Journal of the Inst. of El. Eng.*, t. XXXI, p. 420-437.

Pour les conducteurs de l'*Indian Telegr. Departm.*, on admet que le quart de la tension de rupture est donné par $S = \frac{\text{Poids par } 1\,609 \text{ m} \times 3,3}{4}$ et la flèche en pieds (0,305 m) par $d = \frac{l^2 W}{8S}$ ($l$, portée en pieds, W poids en livres (435 gr) du conducteur par pied). L'auteur donne des tables calculées, au moyen de ces formules; il fait remarquer que la flèche doit être la même pour toutes les sections ; mais il faut la choisir

pour la température la plus basse probable, attendu qu'avec une variation de 2° 3/4 C et de 9° 1/2 pour des portées de 46 m et de 91 m respectivement établies au quart de la tension de rupture, on atteint cette tension. Pour les portées de 70 m et au-dessus, il suffit de mesurer la flèche au milieu de la portée, et de compter sur des températures moyenne et minima de 32° et 10° respectivement (aux Indes). Mais, pour les portées inférieures à 45 m, il est plus prudent de mesurer directement la tension au moyen d'un dynamomètre. L'effet de la température se déduit des formules

$$L = l + \frac{8d^2}{3L}$$

$$d' = d\sqrt{\frac{L - l + lKT}{L - l}}$$

$$S' = S\frac{d}{d'}$$

$l$, portée, L, longueur rectifiée, $d'$, flèche avec une variation de temp. T, K, coefficient de dilatation, S', tension pour T°, etc; l'auteur cite également des courbes tracées au moyen de ces formules pour des conducteurs pesant 45,3 kg pour 1 609 m.

Pour la mesure de la flèche, l'auteur rappelle le procédé connu au moyen d'une perche dont on vise l'extrémité en même temps que les deux points de suspension; mais il recommande de tendre le conducteur avant de le laisser redescendre au repère de la perche correspondant à la flèche désirée, sans quoi l'on ferait une erreur due aux frottements aux points d'appui.

Quant aux attaches, il faut veiller à ce qu'elles ne présentent pas de jeu et à ne pas laisser des restes d'anciennes attaches sur les isolateurs. Les amarres des extrémités de la ligne font, le plus souvent, un angle de 60° avec l'horizon et supportent alors une tension double de celle de la ligne. Les poteaux sont en fonte galvanisée, en longueurs de 2,50 m. Il faut compter sur une pression maximum du vent de 148 kg par mètre carré correspondant à une vitesse de 122 km à l'heure environ.

Dans la discussion de cette communication, M. Simpson rappelle qu'en éliminant L des équations ci-dessus, on obtient

$$d' = \sqrt{d^2 + \left(\frac{3}{8}l^2 + d^2\right)KT}$$

d'où, en négligeant le dernier terme :

$$d' = \sqrt{d^2 + \frac{3}{8}KTl^2}$$

Mais les courbes qu'on en déduit ne tiennent pas compte de l'élasticité, et il vaut mieux opérer empiriquement sur une ligne d'expériences. L'auteur donne des courbes obtenues avec des portées de 66 m; il en déduit que les courtes portées ne semblent pas aussi exposées que le pense M. Burne; ainsi, avec une portée de 25 m, il faudrait une variation de 55° C, pour passer du quart à la moitié de la charge de rupture. De plus, la température qui doit être prise pour base des calculs, n'est pas celle qu'on obtient à l'ombre; un thermomètre suspendu au soleil donne une température supérieure de 5° à 10°.

M. Shields donne une formule tenant compte de l'allongement du conducteur et donnant l'abaissement de température nécessaire pour produire un retrait donné du fil :

$$T = \frac{s' - s}{a} + 8\,\frac{(d'^2 - d^2)}{3\,Kl^2}$$

($a$ est une constante). Pour du cuivre étiré dur, on obtient

$$T = 0{,}84\,\frac{\text{livres (453 gr) par mille (1 609 m)}}{100}$$

Le module d'élasticité correspondant à ces formules est $1{,}26 \times 10^6$ kg par cm², et se rapproche beaucoup des nombres 1,245 à 1,254 donnés par Lord Kelvin. P.-L. C.

## Section locale de Glascow

*Séance du 10 décembre 1901.*

***L'aluminium : sa production, ses propriétés et ses usages*** par **W. M. Morrison**. *Journ. of the Inst. of. El Eng.* t. XXXI, p. 400-419.

L'auteur commence par décrire l'usine hydro-électrique établie sur la rivière Foyers, la plus grande du Royaume-Uni. Deux lacs réunis par un canal procurent une réserve d'eau de 5 jours, même par les plus grandes sécheresses. L'eau est amenée aux vannes par un tunnel taillé dans le roc, et d'un diamètre de 2,50 m; de là, elle est délivrée aux turbines de l'usine, sous une chute de 105 m. Les 7 turbines de Escher, Wyss et Cie (Zurich), actionnent 7 dynamos d'Oerlikon de 700 chevaux chacune, à 150 t : m.

Le facteur de charge est de 90 à 95 p. 100; et le réglage se fait à la main.

Une partie de l'usine est utilisée pour la production de l'aluminium; on y fabrique en outre du carbure de calcium, et divers produits électrométallurgiques.

L'aluminium, qui était un métal rare et se vendait 55 fr le kilogramme, est devenu un produit industriel depuis les brevets de Héroult et de Hall, et son prix est descendu à 4,30 fr le kg.

L'auteur rappelle les diverses tentatives faites pour mettre en liberté l'aluminium (réduction par l'arc, par un métal, précipitation dans des solutions, etc.). La seule qui ait subsisté est celle de l'électrolyse de l'Alumine dans un bain de cryolithe (6 NaF, $Al^2F^6$) fondue, et l'alumine est extraite de la bauxite, minerai argileux contenant 50 à 60 p. 100 d'alumine. Les tensions de décomposition des fluorure, oxyde, chlorure, sulfure d'Al sont respectivement 4, — 2,8 — 2,3 — 0,9 volts, mais l'alumine seule peut s'obtenir économiquement. On admet généralement que la réaction qui a lieu au four est : $Al^2O^3 + 3\ C = 2\ Al + CO$; les densités des corps en présence sont

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Aluminium du commerce : | solide. . | 2,66 | fondu. . | 2,54 |
| Cryolite du Groenland | — | 2,92 | — | 2,08 |
| Cryolite saturée d'alumine | — | 2,90 | — | 2,35 |

On voit combien il est important de réaliser la température la plus économique pour que l'Al puisse se précipiter sur la cathode constituant le fond du four.

L'énergie obtenue par les chutes d'eau est encore la plus économique, quoique les gaz pauvres semblent devoir entrer en compétition; en tout cas, l'aluminium ne peut être obtenu, par d'autres méthodes, aussi pur que par la méthode électrolytique (97,5 à 99,6 p. 100). Les impuretés sont de 0,16 à 0,18 de silicium et de 0,21 à 0,26 de fer.

La production totale de l'Angleterre, l'Amérique, la France et la Suisse atteint 5000 tonnes par an, soit cent fois celle de 1888. Les métaux que l'Al peut être appelé à remplacer partiellement sont surtout le cuivre (497000 tonnes par an) et l'étain (79200 tonnes), et l'on se rend compte de l'avenir réservé à cette industrie en songeant que l'aluminium produit est seulement les 0,87 p. 100 en poids, et les 2,85 p. cent en volume des productions précédentes. La table ci-dessous montre les avantages résultant de la faible densité de l'Al.

| MÉTAL | POIDS SPÉCIFIQUE | POIDS RELATIF à volume égal. | PRIX par tonne. | PRIX RELATIF à volume égal. |
|---|---|---|---|---|
| Aluminium. . . . | 2,56 | 1 | 148 £ | 1 |
| Zinc. . . . . . . | 7,00 | 2,73 | 17,5 | 0,323 |
| Etain. . . . . . . | 7,30 | 2,85 | 115 | 2,21 |
| Fonte . . . . . . | 7,40 | 2,89 | 3 | 0,0586 |
| Laiton (50 p. 100). | 8,30 | 3,25 | 50 | 1,10 |
| Nickel. . . . . . | 8,50 | 3,32 | 196 | 4,40 |
| Cuivre. . . . . . | 8,63 | 3,37 | 66 | 1,51 |
| Bronze à canon. . | 8,73 | 3,41 | 84 | 1,94 |
| Plomb. . . . . . | 11,40 | 4,45 | 12,5 | 0,377 |

La résistance à la traction de l'Al fondu est de 7,8 kg à 12,6 kg par $mm^2$, avec un allongement de 2 à 3 p. 100; laminé ou étiré cette résistance atteint 26,7 kgs par $mm^2$. La température de fusion est de 625° C; il se travaille bien, avec quelques précautions très connues aujourd'hui. Le retrait à la solidification est notable (1,69 p. 100).

L'Al occupe le troisième rang comme malléabilité et le sixième comme ductilité : on obtient des feuilles de 0,0006 mm et des fils de 0,1 mm et même plus fins. Comme conductibilité calorifique, il a le sixième rang; il est peu attaqué par les acides et ses sels sont inoffensifs (cuisine, chirurgie).

Il est moins altéré, à l'air sec ou humide que les métaux ordinaires; la pellicule d'alumine qui se forme le protège contre toute attaque ultérieure.

L'affinité de l'aluminium pour l'oxygène et la température élevée atteinte par la combinaison sont la base du procédé Goldschmidt, consistant à mélanger de l'Al pulvérisé avec l'oxyde d'un métal qu'on veut séparer. Ce procédé a été utilisé à la réparation de pièces de fonte ou d'acier.

L'aluminium additionné aux fontes de fer, acier, bronze empêche les soufflures en se combinant avec les gaz, et rend le métal plus ductible et plus homogène; ses propriétés réductrices sont 20 fois supérieures à celles du silicium.

Après quelques mots sur les alliages et les usages divers de l'Al; l'auteur aborde son emploi en électricité. Les propriétés comparatives de l'Al et du Cu sont indiquées ci-dessous.

| | Cu | Al |
|---|---|---|
| Poids spécifique | 8,93 | 2,65 |
| Conductivité | 100 | 61 |
| Section à conductivité égale | 1 | 1,64 |
| Diamètre | 1 | 1,28 |
| Poids | 1 | 0,485 |
| Résistance à la traction à section égale. | 1 | 0,46 |
| — — à cond. égale | 1 | 0,75 |
| Poids à section égale | 1 | 0,297 |

La résistance à la traction à conductibilité égale n'est que les 3/4 de celle du cuivre, mais comme le poids est de 52 p. 100 plus faible, on tend à recourir à des alliages avec une réduction de 1 à 2 p. 100 de la conductivité et une augmentation de 2 p. 100 du poids.

Les prix comparatifs du cuivre et de l'Al sont donnés par la table suivante.

| PRIX RELATIF du fil de Cu par unité de poids. | PRIX ÉQUIVALENT à section égale de l'Al par unité de poids. | PRIX ÉQUIVALENT de l'Al à conductivité égale par unité de poids. |
|---|---|---|
| 6 | 20,2 | 12,4 |
| 7 | 23,6 | 14,4 |
| 8 | 27 | 16,5 |
| 9 | 30,3 | 18,6 |
| 10 | 33,7 | 20,6 |
| 11 | 37 | 22,7 |
| 12 | 40,4 | 24,7 |

Donc, si le prix du cuivre est 2,20 fr le kg (10), le prix de l'Al pour le même service pourra être 2,20 × 2,06 = 4, 50. fr (au nombre 10 correspond le prix de 2, 20 fr dans la première colonne) pour le même rendement; comme son prix courant est de 4, 10 fr, on réalise donc une économie de 13 p. 100 par l'emploi de l'Al et la perte par effet Joule doit être moindre.

L'auteur n'a pas grande confiance aux soudures des extrémités de conducteurs; un assemblage mécanique, tel que le joint « Mc-Intyre », lui semble seul recommandable. A Foyers, on assemble des plaques par superposition et rivetage; les rivets ne peuvent être qu'en Al, car ce métal est électro-positif par rapport aux métaux usuels. Pour un joint de ligne téléphonique, on tord les deux extrémités l'une autour de l'autre; les bouts libres sont repliés l'un contre l'autre et fondus au chalumeau. Sur une ligne d'essai de 1 650 m, avec 28 joints, celui qui s'est révélé le meilleur consiste à réunir les deux bouts du fil, à les entourer d'un moule en forme de cigare, en deux pièces accollées, et à y couler de l'Al fondu; on enlève ensuite le moule, et on nettoie le joint. L'auteur rappelle les grandes transmissions faites en Amérique avec des lignes en Al (Snoqualmie, Stockton, Tariffville, Kansas City, Buffalo); à Buffalo, en particulier, on a pu doubler la distance des poteaux et réaliser une économie de 30 p. 100 avec l'Al.

Pour les lignes isolées souterraines, l'auteur pense qu'il ne peut être question pour les câbles armés de la substitution de l'Al au Cu. Cependant, pour les hautes tensions, il y a des cas où l'Al peut devenir plus avantageux. M. O'Gorman a montré, en effet (vol. 30, p. 608, *Journal of the Inst. of El. Eng.*,) que, pour un transport d'énergie à tension déterminée, il y a une section de conducteur la plus économique; par conséquent, si une section de cuivre 1,6 fois plus petite suffit (chute de tension, etc), un conducteur, en Al ayant la section la plus économique précédente, remplira les conditions du problème, avec une dépense bien moindre.

Enfin, l'application de l'aluminium aux connexions, interrupteurs, porte-balais, etc., semble destinée à une grande extension, attendu que sa conductivité est 3 fois supérieure à celle du laiton (à 35 p. 100 de Zn). P.-L. C.

## AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

*Séance du 21 août, à Buffalo*

***Discussion des communications de MM. Lincoln, Haskins, Davis et Browne***. — *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, t. XVIII, p. 857-882, décembre 1901.

Dans une communication sur les « Indicateurs de facteur de puissance », M. Browne examinait la question d'imposer aux consommateurs une redevance pour le courant déwatté auquel donne lieu le démarrage des moteurs asynchrones.

M. W. S. Barstow estime que ce courant déwatté est l'unique obstacle au développement du courant alternatif, par ce fait que les stations centrales doivent avoir une capacité bien supérieure à la puissance des moteurs installés. Pour ce qui est du paiement par le consommateur de ce « courant d'emprunt », il ne s'agit pas seulement de sauvegarder les intérêts de la station, mais de voir encore si on ne risque pas de majorer la facture du consommateur de courant alternatif, en comparaison de celle des clients du courant continu, alors que, dans beaucoup de

villes, ces deux genres de consommateurs sont souvent très voisins.

M. Steinmetz, président, tout en admettant l'équité d'une redevance pour le courant déwatté, ne pense pas qu'on puisse, d'une façon péremptoire, condamner le courant alternatif, à cause d'une surcharge des stations, due au démarrage des moteurs asynchrones. Cette surcharge, quand elle existe, est due, la plupart du temps, à la négligence des chefs de stations : un moteur asynchrome bien étudié peut démarrer et fonctionner avec un courant déwatté très réduit, et s'il est un peu plus coûteux d'achat, c'est aux chefs de stations à veiller à ce que le client ne leur impose pas des moteurs à bon marché, qui démarrent avec un courant trois ou quatre fois supérieur à celui de pleine charge. M. Steinmetz cite l'exemple d'une grande usine qui, après avoir remplacé ses moteurs à courant continu par du courant alternatif, trouva une sérieuse économie à ce changement, et fut toute disposée à se laisser taxer pour le courant déwatté [1].

M. S. Dunn trouve, au contraire, que le courant de démarrage est souvent double de celui qui est annoncé par le constructeur, pour les moteurs asynchrones, et le trouble qui en résulte, pour les circuits d'éclairage et les moteurs avoisinants, lui semble une difficulté encore plus sérieuse que les dépenses excessives de courant des stations centrales. Mais, suivant M. R. D. Mershon quand on parle de moteurs asynchrones à courant de démarrage excessif, il faut entendre par là les moteurs à induit en court-circuit (cage d'écureuil), dont la simplicité et la souplesse compensent les inconvénients du courant déwatté. Dans les moteurs asynchrones, au contraire, où l'induit est fermé sur des résistances, on peut démarrer aussi bien qu'avec le moteur à courant continu, avec un facteur de puissance très voisin de l'unité et des variations de voltage très faibles sur le circuit extérieur. En outre, l'orateur pense qu'il est difficile de faire payer le courant déwatté au consommateur, qui ne doit être imposé qu'à raison de la puissance réelle qu'on lui fournit. L'augmentation de capacité de la station que l'on invoque pour justifier cette redevance est bien minime dans la pratique, attendu que la puissance fournie aux moteurs est généralement faible, vis-à-vis de celle de l'éclairage, aux heures de forte charge ; et, aux heures de faible consommation, la puissance nominale de la station est largement suffisante pour l'alimentation des moteurs.

Dans ce même ordre d'idées, M. C. F. Scott se demande si les moteurs asynchrones que l'on a cités comme absorbant au démarrage un courant huit ou neuf fois supérieur au courant normal étaient des modèles du genre, et fonctionnaient véritablement dans des conditions normales. La question du démarrage (qui, à la vérité, ne dure que quelques secondes), n'est pas la seule à envisager dans l'adoption du moteur asynchrone : la simplicité de la construction et du fonctionnement, le peu de risques de dérangement et la bonne tenue dans les conditions extrêmes, doivent également entrer en ligne de compte. Si l'établissement d'un moteur à courant continu est moins coûteux, les frais d'entretien et de réparation sont certainement plus élevés que pour un moteur asynchrone.

La discussion semblant s'écarter de son objet primitif, appareils de mesure et indicateurs de facteur de puissance, le Président fait remarquer que l'étude des caractères du moteur d'induction se trouvant au programme de la séance du lendemain, il est d'avis d'en anticiper la discussion, ce qui pourra d'ailleurs amener quelques éclaircissements sur la question de savoir si un indicateur de facteur de puissance est nécessaire ou non. D'une part, selon l'opinion de M. Steinmetz, le moteur asynchrone peut être construit de façon à démarrer avec un courant peu supérieur au courant normal, tout en développant le couple de pleine charge ; mais, d'autre part, on a construit pour des monte-charges, des moteurs à courant continu, démarrant avec un couple supérieur au couple normal, et un courant inférieur au courant normal.

Sans prétendre que le moteur asynchrone soit le mieux approprié à tous les usages, M. Mershon estime que le moteur-série à courant continu a, dans certaines conditions, des avantages très marqués, mais que le moteur asyn-

(1) Dans ce but, le circuit à fil fin du wattmètre enregistreur renfermait une self-induction réglée de façon à enregistrer le taux du courant déwatté ; et pour répondre à l'objection que, par le fait de la résistance, le courant dans le fil fin n'était pas décalé tout à fait de 90°, on divisa ce circuit en deux autres décalés l'un par rapport à l'autre au moyen de résistances convenables, et le courant, dans la bobine de tension, put être exactement placé en quadrature avec la force électromotrice principale.

chrone peut remplir toutes les conditions d'un moteur-shunt, sauf dans le cas où l'on dispose de plusieurs voltages, et où l'on peut brancher sur les divers circuits des moteurs-shunt à vitesses différentes. Si le premier établissement du moteur asynchrone est plus élevé, au point de vue de l'entretien, de la durée, de la manipulation et de la surveillance, il est préférable au moteur à courant continu ; l'orateur en cite un exemple. — M. Dunn cite d'autres exemples où des moteurs-shunt se sont bien comportés, malgré les poussières de graphite et autres conditions défavorables ; il pense que le faible entrefer des moteurs d'induction doit les faire rejeter dans les atmosphères chargés de poussières. En ce qui concerne le démarrage, il a fait des essais sur un moteur à courant continu où le couple et le courant de démarrage étaient respectivement égaux à 6,4 et 2,4 fois ceux de la marche normale, tandis que les chiffres corres-

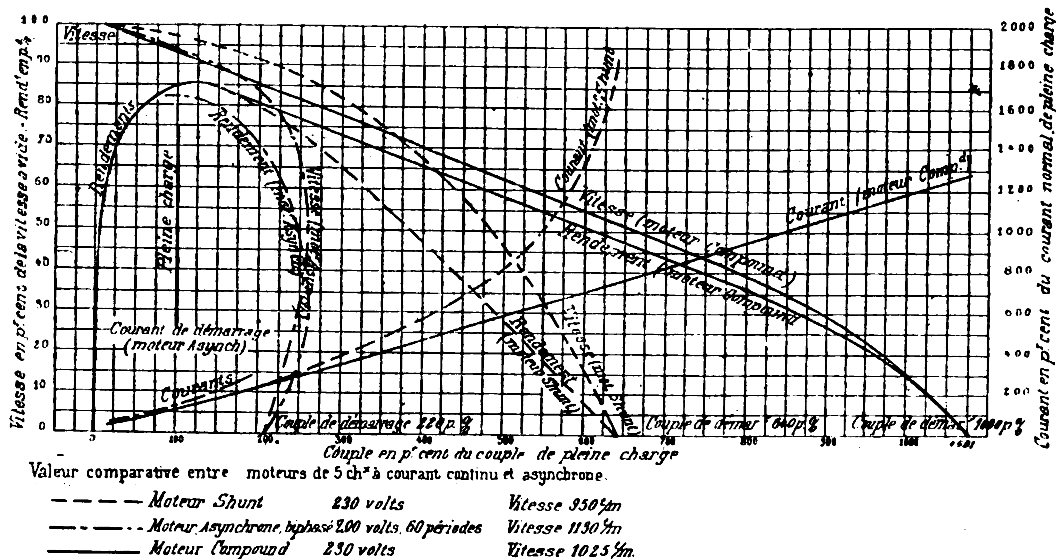



Fig. 1.

pondants, donnés par un constructeur, pour un moteur asynchrone de même puissance, sont respectivement 2,2 et 4,4. Le premier se désamorce pour un couple 6,4 fois le couple normal, et le moteur asynchone est calé déjà pour un couple 2,7 fois le couple normal [1]. Quant à l'entretien du moteur à courant continu, les derniers progrès de l'industrie ont réduit à bien peu de choses les dérangements des collecteurs, et à ce point de vue, le moteur à courant continu actuel peut lutter avantageusement avec le moteur asynchrone. Pour ce qui est du réglage des vitesses, l'orateur estime que c'est là un point très important, attendu que dans la plupart des ateliers, le tiers ou la moitié du travail doit être

[1] M. Dunn complète cette comparaison par une note communiquée après la séance. Les résultats sont représentés dans la figure ci-dessus, et expliqués par la légende. Toutes les courbes sont construites en prenant pour variable indépendante le couple ; et, afin d'avoir des résultats comparables entre eux, les échelles sont comptées en pour cent des valeurs de la pleine charge par chaque quantité. — La figure montre que, à pleine charge, le courant du moteur synchrone est de 10 p. 100 supérieur à celui du courant continu ; et que, pour le couple maximum au démarrage, le premier demande un courant double du second. A pleine charge, le rendement du moteur asynchrone est de 3 p. 100 plus faible que celui de son rival, et la différence va en croissant avec la surcharge. — Quant aux variations de vitesse entre la marche à vide et en pleine charge, elles sont de 4 1/2 p. 100 pour le moteur shunt, 6 p. 100 pour le moteur asynchrone, et 7 1/2 p. 100 pour le moteur compound. Le moteur asynchrone se trouve calé pour un couple de 2,7 fois le couple normal, le moteur shunt, 6,4 fois, et le moteur compound, 10,8 fois.

Quand le moteur asynchrone est calé, la vitesse du moteur shunt est tombée de 13 p. 100 seulement. — Les moteurs à courant continu donnent des étincelles au collecteur dans la région médiane des courbes de vitesses ; sans endommager le commutateur, si on ne maintient pas la surcharge, et les étincelles disparaissent aux charges les plus fortes, par suite du ralentissement de l'induit.

effectué à vitesses variables; le moteur à courant continu remplit très bien ces conditions, et cet avantage compense largement ceux des moteurs asynchrones. En résumé, le courant continu est considérablement moins coûteux que l'alternatif, parce qu'il exige des capacités plus faibles pour les moteurs, et qu'on n'a pas à s'inquiéter d'un courant déwatté dans les enroulements, dans les génératrices, dans les instruments de mesure, etc.

M. W. S. Barstow rappelle que le moteur à courant alternatif est encore dans un état transitoire. Le prix élevé des moteurs asynchrones a pour résultat de faire acheter des moteurs d'occasion par le consommateur. La station centrale se trouve dans l'alternative, ou de refuser le courant, ou d'accepter toutes les difficultés que la connexion d'un moteur quelconque sur le réseau entraînera. Si le consommateur avait la perspective de payer une redevance pour le courant déwatté, que son installation défectueuse absorbe par sa faute, il n'est pas de doute qu'il laisserait à la station centrale le soin de lui spécifier le moteur qu'il doit acheter.

Au sujet de la comparaison de deux moteurs cités par M. Dunn, M. Mershon pense que la différence de rendement observée peut parfaitement résulter de ce fait que, dans la série des moteurs établie par un constructeur, les uns ont un rendement plus élevé que les autres, le moteur-type ayant seul le rendement désiré. Du reste un moteur qui doit développer six fois son couple normal, se trouve évidemment dans des conditions spéciales, et dans ce cas, ce n'est pas un moteur à cage d'écureuil, comme le fait M. Dunn, mais un moteur à induit fermé sur un rhéostat qu'il faudrait prendre comme point de comparaison.

M. Steinmetz, président, est, dans cette comparaison des mérites relatifs des moteurs asynchrones et à courant continu, de l'avis de M. Barstow, que le moteur adopté doit être approprié au service qu'il doit fournir. Le moteur asynchrone, dans les raffineries d'huiles et les industries qui manipulent des substances pulvérulentes, le moteur-série pour les tramways, telles sont les extrêmes d'une classification entre lesquelles il existe une foule de cas où l'un et l'autre moteur peut être employé. En ce qui concerne l'intervention de la station centrale dans le choix des moteurs, M. Steinmetz cite un exemple d'installation de moteurs asynchrones pour monte-charges, où l'on obtenait un couple de démarrage égal au couple normal, avec un courant inférieur au courant normal, en employant une bobine de self-induction puissante en série, dont on supprimait graduellement les spires au démarrage. Mais comme on ne prend pas toujours tant de précautions, la question des indicateurs de facteur de puissance demeure à l'ordre du jour. Tel est également l'avis de M. Hering, qui, à propos du démarrage, cite une expérience personnelle qu'il a pu faire, en Suisse, sur le chemin de fer électrique de Burgdorf à Thun. Le train démarrait sans soubresauts, ce qui est plutôt un avantage, et avec un courant environ double du courant normal (1).

Au sujet de la redevance à demander au consommateur pour le courant déwatté, M. Mailloux montre que de pareilles surtaxes existent déjà, positivement ou négativement pour les consommateurs à forfait, pour les consommateurs de jour, etc. Pour en démontrer la nécessité, l'orateur cite une station de 150 à 200 chevaux qui, même aux heures de faible éclairage, voyait ses plombs fondus par le démarrage d'un moteur de 40 chevaux ; dans une autre de 2 500 chevaux, le courant alternatif, même pour des moteurs de 25 à 35 chevaux, était applicable, par suite de l'impossibilité d'obtenir la variation et le réglage des vitesses, indispensables à une foule d'industries.

Comme le font remarquer plusieurs orateurs, ce qui résulte de cette discussion, c'est que chacune des deux espèces de moteur a son champ d'action propre et qu'il n'y a pas lieu de chercher à comparer entre elles les propriétés des deux moteurs, dans des conditions où elle ne

(1) Ce courant était lu sur un ampèremètre sur lequel se réglait le wattmann; MM. Brown, Boveri et Cᵒ ont confirmé dans l'*Engineering* (Londres) que le démarrage sur la ligne Burgdorf-Thun s'effectuait avec une accélération d'enviroe 0,50 m par seconde, sans que le courant dépassât le courant normal. L'observation de M. Héring concerne le départ sur la pente qui existe au sud de la ligne et explique la différence. M. Mailloux affirme que le démarrage n'était pas aussi régulier que l'a observé M. Héring et que le courant de démarrage lui a semblé être plus du double du courant normal. Mais, comme le fait remarquer très justement M. Héring, il ne s'agit pas de savoir si le démarrage est en tout temps effectué dans les conditions qu'il a indiquées, mais s'il peut l'être, et ce point semble incontestable.

sont pas comparables. Il y a cependant une prétention que M. Scott se croit obligé d'infirmer, c'est que le moteur-shunt peut être, dans tous les cas, employé avec autant de succès que le moteur asynchrone ; l'infériorité manifeste du moteur-shunt, pour beaucoup d'applications, réside dans son enroulement inducteur, susceptible d'échauffement et de courts-circuits, son collecteur, ses balais et ses porte-balais, son armature mobile avec ses multiples et délicates connexions. Comme construction, il y a aussi là une différence essentielle. — D'autre part, M. Dunn, d'accord avec M. Steinmetz, reproche au moteur asynchrone son faible entrefer, son facteur de puissance, et son peu d'aptitude aux vitesses variables et aux démarrages puissants. M. H. Boy de la Tour (présent à la séance), abonde dans ce sens : si on peut construire un moteur asynchrone avec un courant et un couple de démarrage normaux, il est vrai aussi, qu'avec le moteur à courant continu, on obtient un couple de démarrage normal, n'exigeant que 65 à 70 p. 100 du courant normal. Mais l'orateur fonde de grandes espérances sur l'avenir du courant alternatif, en disant que la nature a, pour ainsi dire, été violée dans le moteur à courant continu. Quant à présent, s'il s'agit d'une sous-station alimentée par du courant alternatif, la commutatrice, comme le dit très bien M. Stott, fournit le moyen de choisir entre le moteur asynchrone et le moteur à courant continu, suivant les applications ; et quant à l'avenir, il n'est pas impossible que l'invention d'un nouveau moteur réunissant tous les avantages des précédents, sans leurs inconvénients, ne mette un terme à la rivalité entre les deux types de moteurs.

M. Haskins questionné sur les progrès accomplis dans les compteurs « à double taux », destinés à prélever une redevance plus élevée pour l'énergie distribuée aux heures de débit maximum, dit qu'on a pu réaliser un compteur à cadran unique, remplissant cet objet. Dans ce but, le système mobile subit une réduction de vitesse, pendant les heures de faible consommation, au moyen de l'insertion d'une résistance en série avec l'armature produite par un mouvement d'horlogerie au moment voulu.

***Le moteur asynchrone et la commutatrice ; leur relation avec le système de transmission***, par **Ch. F. Scott**. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, t. XVIII, p. 883-894, déc. 1901.

Dans cette communication, l'auteur étudie les deux appareils qui servent à transformer le courant alternatif en force motrice et en courant continu, à savoir, le moteur asynchrone et la commutatrice. Il établit une comparaison entre ces machines et celles qui pourraient réaliser le même objet ; et il s'applique à faire ressortir l'influence de leur fonctionnement sur la transmission et les génératrices.

1. *Moteur asynchrone*. — L'auteur établit un parallèle entre les caractères du moteur synchrone et du moteur asynchrone, que nous résumons en note (1). Le moteur asynchrone pris

(1)

| MOTEUR SYNCHRONE | MOTEUR ASYNCHRONE |
|---|---|
| *Appareils auxiliaires.* | |
| Moteur de démarrage, ou, pour démarrage automatique, résistance ou transformateur réduisant le voltage. | Un commutateur bipolaire avec transformateur-réducteur de voltage. |
| Une excitatrice mue ou non par le moteur avec connexions au tableau et au moteur. | Point d'excitatrice. |
| Rhéostat pour l'excitatrice et le moteur. | Point de rhéostat de champ. |
| Instruments pour indiquer si l'excitation est convenable. | Point d'instruments. |
| Interrupteurs pour la ligne et l'excitation. | Pas d'interrupteurs pour excitation. |
| Un embrayage à friction, dans beaucoup de cas. | Le moteur démarre sous charge. |
| *Construction.* | |
| Enroulement d'induit. | Enroulement primaire. |
| Enroulement inducteur, sujet aux extra-courants de rupture et aux inductions élevées, par l'armature, si le circuit d'excitation est ouvert. | Secondaire en court-circuit. |
| Bagues collectrices et balais. | Point de contacts tournants. |

pour terme de comparaison est à cage d'écureuil et à démarrage par application de basses tensions sur le primaire. La comparaison subirait quelques légères modifications dans le cas d'un moteur à résistance réglable sur le secondaire.

L'infériorité du moteur synchrone est moins

| MOTEUR SYNCHRONE | MOTEUR ASYNCHRONE |
| --- | --- |
| *Démarrage. — Conditions normales.* | |
| S'il y a un moteur auxiliaire, il doit être amené au synchronisme à vide ; sinon, les appareils de démarrage doivent être coupés en temps voulu. | Commutateur à manœuvrer pour le démarrage et la marche normale. |
| L'excitatrice est mise en fonction et le champ réglé au moyen de rhéostats. | Le moteur est excité par le courant déwatté de la génératrice. |
| La charge s'applique par embrayage. | Démarre sous charge. |
| *Démarrage. — Anomalies.* | |
| Le moteur auxiliaire ne lâche pas au synchronisme ; ou bien si l'induit n'est pas connecté aux appareils de démarrage, une force électromotrice est induite dans l'inducteur, en danger s'il est ouvert. | La seule erreur possible est l'application du voltage total, qui produit simplement un couple et un courant plus forts qu'il n'est nécessaire. |
| Une charge à inertie élevée appliquée au moment de l'embraye arrête le moteur. | Démarre sous charge. |
| Si le moteur est arrêté par défaut de courant d'alimentation, il faut effectuer un nouveau démarrage quand le courant est rétabli. | Le moteur s'arrête et démarre avec l'arrêt et la reprise du courant. |
| *Couples de démarrage et maximum en marche.* | |
| Le couple de démarrage est faible et exige un courant intense ; le démarrage se fait en marche asynchrone, mais avec un très faible rendement. | Le couple de démarrage est réglable et peut être supérieur au couple normal. |
| Le couple maximum est égal à plusieurs fois le couple normal, au synchronisme ; mais le moteur se décroche au-dessous du synchronisme. | Le couple maximum est plus grand que pour le moteur synchrone, mais le couple augmente quand la vitesse diminue. |
| *Vitesse.* | |
| Une seule vitesse (synchronisme) en dehors de laquelle le moteur absorbe un courant exagéré en ne donnant qu'un couple faible. | On peut le construire soit à vitesse pratiquement constante, soit à plusieurs vitesses définies, obtenues par la variation du nombre de pôles ; soit à vitesse variable (grues, monte-charges, ascenseurs, etc.). |
| *Courant.* | |
| Quand il y a un couple de démarrage, le courant est exagéré. | Le courant de démarrage peut être proportionnel au couple et n'être que 1 1/2 à 2 1/2 fois le courant requis par le même couple à pleine vitesse. |
| Si la forme des courants de ligne et du moteur diffèrent, il se produit un courant de correction impossible à éliminer. | Le courant normal est pratiquement indépendant de la forme du courant d'alimentation. |
| Le courant dépend de l'uniformité des alternations de la génératrice et des autres moteurs synchrones. Le moteur prend un mouvement pulsatoire avec la génératrice. | Grâce au glissement, le mouvement du moteur est pratiquement indépendant des pulsations du courant. |
| Le courant dépend de la relation entre le courant d'excitation et la force électromotrice appliquée ; il peut être décalé en avant ou en arrière. La force électromotrice du circuit est partiellement à la disposition du surveillant. | Le courant du moteur, ni la force électromotrice du circuit ne peuvent être modifiés par le surveillant du moteur. |
| *Facteur de puissance.* | |
| C'est le rapport entre le courant réel et le courant watté ; il dépend de la forme des courants, des courants pulsatoires et du courant d'excitation. — Il est voisin de l'unité, mais, dans quelques cas, toujours inférieur à celui du moteur asynchrone. | Varie avec la charge, mais est défini et indépendant de la forme et des pulsations du courant. |
| Le courant peut être décalé en avant ou en arrière, suivant l'excitation. | Toujours décalé en arrière. |

considérable, si, comme le dit l'auteur, on l'emploie dans des sous-stations ou en unités assez fortes pour justifier la présence d'un surveillant. Malgré la possibilité de réduire le décalage dans les génératrices et les circuits de transmission en faisant varier le facteur de puissance des moteurs synchrones, l'auteur constate que cette raison est insuffisante, la plupart du temps, pour motiver leur emploi. On préfère établir les génératrices et les lignes de façon à pouvoir supporter le courant déwatté, et les moteurs asynchrones de grande puissance ont, d'ailleurs, un facteur de puissance si voisin de l'unité, que le courant déwatté est presque constant pour les différentes charges, et qu'il constitue un élément bien défini auquel il est aisé de pourvoir. Toutes ces considérations justifient la préférence dont jouit le moteur asynchrone.

II. *La Commutatrice.* — Bien que la commutatrice soit un moteur synchrone, l'auteur rappelle que le démarrage s'y fait sans autre charge que la rotation de l'armature, qu'elle peut fournir elle-même son excitation, qu'elle peut être munie d'un enroulement compound qui modifie le courant déwatté, de façon à prévenir les chutes de voltage, et qu'enfin les commutatrices sont, en général, établies en fortes unités, dans des sous-stations très bien surveillées.

Ces considérations doivent, selon l'auteur, faire préférer la commutatrice au moteur générateur qui, se composant de deux machines, est, en outre, plus cher et a un rendement moindre. Il y a cependant des cas (entre autres celui où le voltage doit varier dans de grandes limites), où l'indépendance du voltage produit par le moteur-générateur, de celui du circuit d'alimentation, peut faire préférer ce dernier ; le moteur sera alors de préférence un moteur asynchrone, qui est peu sensible aux fluctuations rapides et périodiques de la génératrice, et qui ne risque pas de s'arrêter sous l'influence d'une surcharge brusque, d'une interruption momentanée ou d'une baisse de voltage, comme le feraient une commutatrice ou un moteur synchrone. Enfin, comme le dit l'auteur, ces dernières machines ne sont pas applicables à une distribution où il n'existera que de faibles unités ([1]).

III. *L'alternateur.* — Un alternateur alimen-

| MOTEUR SYNCHRONE | MOTEUR ASYNCHRONE |
|---|---|
| *Réaction sur le circuit et les génératrices.* | |
| Donne la forme de son onde au circuit. | Au contraire, tend à absorber les irrégularités des ondes non sinusoïdales simples. |
| Les oscillations de son armature augmentent les pulsations de vitesse de la génératrice, il augmente les troubles du circuit en interférant avec d'autres moteurs. | Amortit les pulsations de la fréquence ; connecté avec moteur synchrone, il en amortit les pulsations. |
| Par suite du décalage variable, la chute de la force électromotrice de la génératrice et des circuits peut être plus forte ou plus faible que s'il y avait une charge non-inductive ou un moteur synchrone. | La chute de la force électromotrice est toujours plus grande que pour une charge non inductive. |
| En cas de court-circuit sur la ligne, le moteur ajoute au courant de court-circuit celui qu'il engendrera comme génératrice. | Le moteur ne peut produire de courant en cas de court-circuit. |
| Si l'un des conducteurs du circuit est coupé, la force électromotrice du moteur s'ajoute à celle de la ligne et met l'isolation en danger. | Le moteur n'engendre pas de force électromotrice quand un conducteur est coupé. |
| *Causes d'arrêt.* | |
| Une baisse de voltage due à un court-circuit sur la ligne, à un accident à un autre moteur, à une erreur de mise en phase, à une erreur de connexion peut décrocher le moteur, surtout s'il est en charge. | Une baisse de voltage momentanée ne cause qu'un ralentissement momentané du moteur. |
| Une surcharge, même instantanée, au-dessus du couple limite, décroche le moteur ; la liaison entre la génératrice et le moteur est rigide. | Le moteur peut absorber toute surcharge même à l'arrêt ; il se remet en marche quand la surcharge disparaît ; sa liaison avec la génératrice est élastique. |
| Une accélération de vitesse de la génératrice décroche le moteur si la charge possède une inertie trop forte pour le maintien du synchronisme. | Le moteur obéit aisément aux changements de vitesse de la génératrice. |

([1]) La « Westinghouse Electric and Manufacturing C° » à laquelle appartient l'auteur, a livré plus de 400 commutatrices à l'industrie, dont 30 p. 100 ont une fréquence d'au moins 60 périodes. La puissance totale est de plus de 165 000 kilowatts.

tant des moteurs doit être étudié spécialement. S'il s'agit de moteurs asynchrones, l'auteur estime qu'une bonne régulation intérieure de la génératrice, obtenue par une excitation puissante, est nécessaire, quand les moteurs sont relativement puissants par rapport à la génératrice. Les modes de réglage extérieurs sont inefficaces contre les surcharges brusques ou les arrêts et mises en marche de moteurs.

Il en est, à plus forte raison, de même pour les commutatrices, si l'on veut maintenir la liaison rigide qui doit exister entre la génératrice et la commutatrice. Un champ magnétique trop faible donne lieu à des pulsations du flux qui produisent le même résultat que des variations de vitesses de la machine, et qui se transmettent à la commutatrice. Ces fluctuations se produisent également, dit l'auteur, si le fer inducteur est saturé, car une grande proportion de la force magnétisante est absorbée dans le fer; la machine sera bonne, comme constance de force électromotrice, mais ces pulsations la rendent inapplicable à l'alimentation d'appareils synchrones. L'auteur exprime, en terminant, l'opinion qu'en étudiant convenablement les alternateurs et les circuits, en vue de l'alimentation des moteurs asynchrones et des commutatrices, on peut arriver à infirmer tous les arguments qu'on chercherait à faire prévaloir contre le courant alternatif; les nombreuses installations fonctionnant actuellement, avec pleine satisfaction, le prouvent surabondamment.

***La manœuvre des systèmes à hautes tensions et à grandes puissances,*** par **E. W. Rice**. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, t. XVIII, p. 895-909, décembre 1901.

Dans cette communication, l'auteur considère les progrès accomplis dans la manipulation des courants intenses à hautes tensions. Les usines génératrices puissantes, et en petit nombre, ont remplacé les petites stations à basses tensions; des unités de 2000 à 5000 kw se sont substituées à celles de 200 à 500 kw, et des tensions de 1000 à 2000 volts ont cédé la place à celles de 5000 à 15000 volts. Cette marche ascendante des puissances et des tensions se trouve néanmoins limitée par la difficulté, sinon les dangers, de manipuler les courants de grande intensité sous voltages élevés. Dans l'équipement de la station de la « Metropolitan Traction C° » de New-York (3600 kw, 6600 volts), la compagnie, à laquelle appartient l'auteur, eut à opter entre trois types d'interrupteurs [1] :

1° Interrupteurs coupant le circuit dans l'air libre.

2° Interrupteurs coupant le circuit dans un espace d'air fermé.

3° Interrupteurs à huile.

L'interrupteur à huile qui fut seul jugé pratique permettait de manipuler des puissances de 2000 à 3000 kw à des voltages allant jusqu'à 15000 volts. Il a été décrit en détail dans *l'Electrical World and Engineer*, (t. XXXV, p. 543, 14 avril 1900). L'auteur en rappelle les traits caractéristiques [2]. La manœuvre de l'interrupteur coupe chaque phase en deux points, et quand même un arc subsisterait, le système triphasé est rompu par le fait que deux phases sont coupées chacune en un point seulement. Les arcs de chaque phase se produisent dans des chambres en briques séparées, et il n'y a aucun risque qu'un arc d'une phase atteigne une autre phase. L'auteur examine ensuite l'influence de l'interruption ou de la fermeture des circuits sur la production des résonances. Il rappelle les nombreux essais qui ont prouvé que l'interrupteur à huile ne donnait pas lieu aux effets de

(1) Toutes les génératrices étaient connectées aux barres du tableau d'où partaient les feeders des sous-stations. Les commutatrices travaillaient souvent en quantité avec de grandes batteries d'accumulateurs; et les choses étaient disposées de façon que, si le circuit d'excitation des génératrices venait à être coupé, les commutatrices pouvaient, sous certaines conditions, fournir un courant magnétisant suffisant pour exciter les génératrices Il devenait donc essentiel de disposer d'un système de commutateurs et d'interrupteurs qui permit de connecter et de déconnecter, sans inconvénient, à toute charge et même en court-circuit, les génératrices et les feeders.

(2) L'interrupteur pour courant triphasé se compose de trois interrupteurs doubles dont un pour chaque phase, renfermé dans une chambre incombustible, mais les trois interrupteurs fonctionnent solidairement. Chaque élément d'une phase est formé de deux cylindres en laiton connectés avec l'arrivée et le départ de la phase. Chaque cylindre est à peu près rempli d'huile et couvert par un chapeau métallique portant une douille isolante. Deux tiges de cuivre pénètrent dans les douilles et viennent s'ajuster dans des contacts tubulaires fixés au fond des cylindres. Une traverse métallique réunit les deux tiges de cuivre à la partie supérieure et est rattachée à une tige en bois manœuvrée à l'extérieur de la chambre par un moteur pneumatique ou électrique. — Les cylindres sont garnis intérieurement de fibre. Pour 12 000 volts les chapeaux des cylindres sont en porcelaine.

résonance à l'ouverture des circuits; ces effets se produisent il est vrai à la fermeture, mais indépendamment du système d'interrupteur adopté. L'interrupteur à air libre provoque des résonances comme l'ont montré des essais à l'oscillographe fait à Kalamazzo (Mich.), sur des circuits de 1200 à 1300 kw, à des tensions de 25000 à 40000 volts. Le système d'interruption consistait simplement à séparer les deux parties du circuit dans l'air, jusqu'à extinction de l'arc; ce dernier durait plusieurs secondes à 25000 volts; à 40000 volts, il atteignait une longueur de 9 m environ (30 *feet*), traversait et mettait la ligne en court-circuit, et provoquait en même temps des tensions doubles ou triples du voltage normal. D'autres essais montrèrent également la présence de résonances en cas de court-circuit dans l'air. Le type à tube avec expulsion d'air fonctionnait jusqu'à 25000 volts. Le type à huile ci-dessus mentionné se comporta parfaitement à 40000 volts; l'arc durait de 3 à 9 périodes et l'extinction s'opérait sans troubler le système, sans flamme et sans fumée. Le type à expulsion d'air provoquait des traces de résonances pendant quelques périodes et une légère élévation du voltage.

L'auteur insiste sur la nécessité, dans la construction et la manœuvre de ces appareils, de prévoir les cas les plus défavorables et d'éviter surtout qu'un accident à un groupe puisse intéresser les groupes adjacents. Il pense qu'on ne s'est pas assez préoccupé d'éviter les graves conséquences d'un arrêt de service, dans les grandes stations de 10000 à 100000 chevaux qui alimentent à la fois l'éclairage, la force motrice, la traction, etc.

Comme indications générales, l'auteur préconise, dans les stations de plus de 5000 kw, la division en unités, poussée aussi loin que possible, aussi bien pour les chaudières que pour les machines à vapeur et les dynamos. Le tableau de distribution sera placé de préférence en dehors de la salle des machines et les différents circuits nettement séparés. Chaque interrupteur devra être capable de couper la charge entière de la station même en court-circuit. Les appareils de manœuvre seront de préférence, commandés électriquement d'un même point. Les interrupteurs seront tous doubles pour un même circuit, et les barres du tableau subdivisés en groupes interchangeables. Les différents feeders sortiront de la station en caniveaux séparés ; ils aboutiront à deux interrupteurs en série, où il y aura au moins un interrupteur général pour un groupe de feeders. Tous les appareils seront éloignés suffisamment sur les tableaux de façon qu'un arc accidentel sur l'un d'eux ne puisse atteindre le voisin. La commande électro-magnétique de toutes les connexions, sur un petit panneau séparé, rendra la surveillance plus facile et évitera les erreurs en mettant l'opérateur à l'abri de tout danger et de tout affolement.

*Séance du 3 janvier 1902*

***L'éclairage des rues et les unités de lumière***, par **W. d'A. Ryan**. *Transactions*, t. XVIII, p. 909-923, déc. 1901.

L'auteur expose, dans cette communication, les résultats d'essais de comparaison photométrique entre l'arc nu et l'arc enfermé, effectués par lui, en prenant toutes les précautions pour assurer la constance du courant et du voltage et noter la position de l'arc [1].

Dans une première série d'essais, l'auteur compare la puissance lumineuse et l'éclairement à diverses distances, d'une part, d'un arc à feu nu, entouré d'un globe transparent et muni de charbons de 11 mm, et d'autre part, d'un arc en vase clos, avec charbon de qualité supérieure, renfermé dans un premier globe opale et un second transparent. La consommation en watts des lampes est la même. L'intensité de l'arc enfermé est plus forte que celle de l'arc nu, pour des angles de 3° à 10° au-dessous de l'horizontale, et plus faible mais plus régulière dans les autres régions. Quant à l'éclairement produit sur la voie publique, l'auteur a trouvé, pour des arcs placés à 7,50 m au-dessus du sol et à 90 m d'intervalle, que l'éclairement est maximum dans les arcs à feu nu, à une distance de 4,50 m du candélabre, ce qui correspond à un angle de 60° au-dessous de l'horizontale. De 30 à 45 m l'éclairement est supérieur pour l'arc clos.

Dans l'arc nu la quantité de lumière projetée

[1] Afin de réduire l'intensité de la source, l'auteur emploie un disque tournant à secteurs, de façon que toutes les lectures puissent se faire dans la région la plus exacte de la barre du photomètre. Les essais au photomètre Bunsen ont été faits par quatre opérateurs, le premier pour faire les lectures, le second pour maintenir constants le courant et le voltage, le troisième pour noter la position de l'arc, le quatrième pour inscrire les lectures au moment voulu.

varie très rapidement avec la partie du cratère visible dans les différentes directions et par suite avec la tension aux bornes. Dans les lampes mal surveillées, l'arc est silencieux et devient sifflant alternativement dans des intervalles variant de 5 à 15 minutes. Dans l'arc clos le fonctionnement est silencieux pendant des intervalles de 3 à 5 heures; l'arc a une longueur de 10 mm, environ, et se remet en place rapidement. La tension peut varier de 10 à 15 volts par suite de l'échauffement des bobines en dérivation; mais quand on remédie à cette variation par des enroulements compensateurs ou des thermostats, l'intensité hémisphérique de l'arc en vase clos est pratiquement constante. L'influence du déplacement de l'arc est moins grande sur l'arc en vase clos; si l'on fait, en outre, usage de verre opale les éclairements sont répartis très uniformément et très régulièrement.

Le courant alternatif donne lieu à un rendement à peu près le même dans l'arc en vase clos que le courant continu; ce qui est loin d'être vrai, comme on sait, pour l'arc à feu nu.

L'auteur a effectué également des essais comparatifs entre les unités de faible et de forte intensité quant à la répartition de l'éclairement sur les voies publiques. Ces essais ont été faits faits au lumen-mètre, en prenant pour étalon la « bougie-pied (1), et ont porté sur des arcs à courant alternatif, de 285, 350, 425 et 485 watts respectivement, en vase clos. Le rendement lumineux à distance est, par rapport à l'arc le plus faible, de 100 — 90,2. — 85,7 et 81,7 p. 100 respectivement.

L'auteur a observé que pour obtenir un éclairement de 0,006 bougies-pied au milieu de la distance de 2 lampes il faut employer 10,7 lampes de 485 watts et 14,9 de 285 watts par mile (1609 m); d'où une économie de 1000 watts pour ces dernières et l'avantage de 4 régions fortement éclairées en plus. L'auteur pense avec raison, qu'il ne faudrait pas étendre ces avantages des foyers faibles aux lampes à incandescence qui émettent trop peu de lumière pour être placées à des hauteurs notables, et pour obtenir de puissantes diffusions sur les édifices (2).

(1) Eclairement produit par une bougie à 0,304 m ou $0{,}304^2$ bougie-mètre (N. du Tr.).

(2) L'auteur a soin de faire remarquer que cette supériorité de l'arc en vase clos serait peut-être moins absolue si l'on employait, comme en Europe, des lampes soigneusement construites, bien entretenues et placées à des distances de 25 à 50 m.

Néanmoins, l'entretien, la commodité et les frais d'exploitation resteront toujours des avantages sérieux pour l'arc en vase clos.

***Note sur la flamme de l'acétylène dans l'oxygène*** par **C. H. Sharp.** *Transactions*, t. XVIII, p. 927-931, déc. 1901.

L'auteur, en qualité de membre d'une commission de l'Association spécialement nommée dans ce but en 1896, a fait des recherches sur les étalons à flammes de gaz purs brûlant dans l'oxygène pur. Avec les brûleurs ordinaires, l'acétylène pur est inapplicable, par suite du dépôt rapide de charbon graphitique sur les orifices du brûleur. Mélangé à l'hydrogène pur, l'acétylène brûle sans dépôt; mais comme les gaz sont produits au-dessus de l'eau, la différence de leurs coefficients de solubilité qui varient en outre, inégalement avec la température, empêcha l'auteur de pouvoir reproduire une intensité déterminée de la flamme au moyen du réglage de la pression. Il adopta la disposition suivante pour la combustion de l'acétylène pur : le gaz passe à travers un tube central A, entouré complètement d'un manchon à circulation d'eau J, l'oxygène arrive dans un conduit O concentrique aux précédents (voir la fig.), de sorte que les gaz se trouvent déjà mélangés au moment de la combustion en *o*. Il n'y a plus de dépôt graphitique et l'intensité de cette flamme est définie par des conditions suivantes qui ne sont pas toutes indépendantes : Avec un rapport déterminé de la vitesse d'écoulement des gaz et une hauteur définie de la flamme, l'intensité lumineuse de la flamme entière atteindra un maximum; en outre, l'intensité lumineuse d'une portion de flamme sera parfaitement déterminée si cette portion est prise au travers d'une fente horizontale disposée de façon à laisser passer le maximum de quantité de lumière.

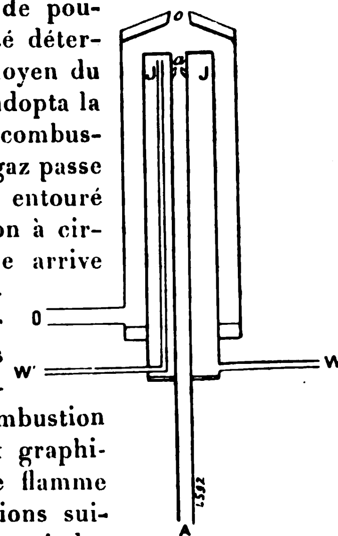


Fig. 1.

La flamme ainsi obtenue s'adapte très bien aux essais photométriques de l'arc; mais elle est trop blanche pour la lampe à incandescence, de même que la lampe Hefner est trop rouge.

L'auteur estime néanmoins que cet excès de blancheur est un avantage pour un étalon de lumière destinées aux sources de l'avenir.

***L'état actuel de la question d'un étalon de lumière***, par **Clayton H. Sharp**. *Transactions*, t. XVIII, p. 931-935, déc. 1901.

L'auteur constate que, seuls de tous les étalons proposés, l'étalon à flamme de pentane et la lampe à acétate d'amyle de Hefner tendent à être conservés en pratique; le premier est préféré par les gaziers, la seconde par les électriciens. Mais ces deux étalons sont encore loin de réaliser l'idéal ; dans la liste des sources lumineuses aujourd'hui usitées et qui se rapprochent de plus en plus de la lumière blanche, ils occupent, à ce dernier égard, le dernier rang. Il en résulte selon l'auteur que les mesures, avec ces étalons, tendent à attribuer aux sources de lumière blanche une acuité visuelle par bougie moindre qu'elle ne l'est en réalité.

Les perfectionnements dans la manipulation de l'étalon Violle (Petavel, *Proc. Roy. Soc.* Vol. LXV, p. 481, 1900) et la définition du « noir » théorique par Pascher et Lummer paraissent à l'auteur un grand pas dans la voie du progrès.

Parmi les sources usuelles, la flamme de l'acétylène est celle qui semble le plus se rapprocher du blanc normal; avec le brûleur ordinaire, Fessenden a obtenu des flammes d'une constance satisfaisante en réglant convenablement la pression. M. Féry emploie au contraire des flammes longues et minces, en mesurant l'intensité de la flamme par la hauteur (entre 1 cm et 2,5 cm).

L'auteur mentionne les tentatives faites pour brûler un gaz pur, comme l'acétylène, dans l'oxygène pur; mais les résultats ne lui semblent pas encore définitifs.

En pratique on est donc réduit à l'étalon pentane et la lampe Hefner. L'auteur estime cependant qu'une lampe à incandescence bien étalonnée constitue un étalon secondaire très satisfaisant.

***Lampes électriques à gaz et phénomènes de résistance électrique des gaz*** par **P. C. Cooper Hewitt**. *Transactions*, t. XVIII, p. 935-942, déc. 1901.

L'auteur complète les résultats déjà obtenus par lui, sur les lampes à gaz. Il a fait des lampes de diamètre variant de 3 à 75 mm, et de longueurs variant de 75 mm à 3 m environ. L'intensité lumineuse y variait de 10 à 3000 bougies. — Les lampes montées sur un circuit de 118 volts consomment de 1 à 6 ampères, avec un rendement de 1/2 watt par bougie, qui dans les meilleures conditions atteignait 1/4 watt par bougie (int. sphér.). L'intensité par unité de longueur n'est limitée que par le ramollissement du verre.

Examinée au spectroscope, la lumière de ces lampes présente plus ou moins de raies des couleurs du spectre solaire, sauf de la lumière rouge. L'auteur ne voit pas là un grand inconvénient pour la plupart des applications, d'autant plus que les lampes à gaz présentent un pouvoir pénétrant plus élevé que les lampes à incandescence et qu'on est arrivé à y introduire la lumière rouge, en sacrifiant un peu le rendement.

L'auteur a fait des essais sur la conductivité du gaz de la lampe; il a trouvé la résistance proportionnelle à la longueur, en raison inverse du diamètre (et non du carré). La conductivité varie en outre avec la densité du gaz et dépend d'un certain coefficient de résistance. La résistance varie avec le courant, et la densité du gaz dépend du voltage. L'auteur a observé qu'il y a une conductivité maximum pour une certaine densité.

La résistance à l'électrode positive semble négligeable, s'il n'y a pas d'altération physique ou chimique. Quant à l'électrode négative, elle présente une sorte de self-induction, au passage initial du courant; puis une flamme procède de l'électrode négative normalement à la surface d'émission, et si la direction de cette flamme fait un angle avec la direction du courant, la résistance à l'électrode négative, devient négligeable. La résistance initiale est grandement modifiée quand on charge positivement la partie extérieure de la lampe du côté de l'électrode négative, et les phénomènes diffèrent totalement quand les électrodes contiennent des matières étrangères.

Avec des électrodes en fer, on a pu disposer les choses de façon à ce que l'électrode négative devienne elle-même une source lumineuse.

La présence d'impuretés dans la lampe est très utile pour faire varier la résistance à l'allumage. L'auteur a employé d'autres gaz que la vapeur de mercure, mais cette dernière est préférable pour les essais, par suite de la facilité de l'obtenir pure. P.-L. Charpentier.

*Le Gérant :* **C. NAUD.**

# M. CORNU

Quand la mort nous enlève un homme dont la tâche est terminée, c'est seulement l'ami, le maître, ou le conseiller que nous pleurons, mais nous savons que son œuvre est accomplie, et à défaut de ses conseils, ses exemples nous restent. Combien elle nous semble plus impitoyable quand c'est un savant, encore tout rempli de vigueur physique, de force morale, de jeunesse, d'esprit, d'activité féconde, qui, soudain disparaît; alors nos regrets sont sans bornes; car, ce que nous perdons, c'est l'inconnu, qui par essence est sans limites, ce sont les espoirs infinis, les découvertes de demain que celles d'hier semblaient nous promettre.



De là cette émotion qui s'est emparée du monde savant tout entier, quand cette nouvelle si imprévue, si foudroyante est venue le frapper.

Pour nous, ce deuil nous atteint cruellement. M. Cornu était membre de notre Comité de direction depuis son organisation; nous allons être privés de ses précieux conseils qui nous étaient si utiles.

M. Cornu était né en 1841. En 1860, il entra à l'Ecole Polytechnique d'où il sortit deux ans après comme élève ingénieur des Mines. Mais il abandonna de bonne heure le service actif des Mines pour entrer dans le corps enseignant de l'École Polytechnique. Dès 1871, à l'âge de trente ans, il fut nommé professeur de physique dans cette grande Ecole. Son enseignement fut tout de suite très goûté des élèves; il inaugurait un mode nouveau d'exposition de la physique, et en particulier de la thermodynamique.

D'ailleurs, comme membre du Conseil de perfectionnement, il exerça, pendant plusieurs années, une grande influence sur l'évolution de l'Ecole Polytechnique.

En 1878, il fut nommé membre de l'Académie des Sciences.

En 1886, il entra au Bureau des Longitudes et on trouvera dans l'Annuaire de ce bureau, une série de notices que le public a beaucoup appréciées.

M. Cornu était membre de la Société Royale de Londres, des Académies de Turin, Rome, Vienne, Saint-Pétersbourg, de celles de Suède, de Belgique, de Boston.

Il fut président de la Société française de Physique, et de la Société Astronomique de France.

Il était membre du Conseil de l'Observatoire de Paris, où il remplissait les fonctions de secrétaire et du Conseil de l'Observatoire de Nice.

Récemment, quand il fallut, au Congrès de physique, choisir un président pour recevoir dignement nos hôtes de 1900, c'est à lui que tout naturellement tous ont songé. Nul n'aurait présidé avec plus d'autorité ces débats où nous avions convié tant d'illustres savants étrangers.

Il était désigné par sa gloire incontestée qu'avait consacrée le suffrage de tant d'Académies étrangères, par l'étendue et la sûreté de sa science, par la justesse de son esprit.

Qui ne se rappelle avec quelle limpidité il exposait ses découvertes, soit à l'Académie, soit à la Société de Physique, soit à la Société internationale des électriciens; avec quelle chaleur aussi et surtout avec quelle élégance! Il était aussi jaloux d'une clarté impeccable, en face de ses collègues qu'en face de ses élèves. Faire autrement eût été pour lui une souffrance; car ses goûts d'artiste en auraient été choqués. Et en effet, l'artiste se retrouvait partout, chez le penseur, chez l'expérimentateur, chez le professeur.

Quand il imaginait ou qu'il construisait un appareil nouveau, quand il en étudiait les derniers détails, quand il le décrivait, surtout, on sentait que ce n'était pas seulement à ses yeux un instrument, mais un objet d'art, et qu'il ne se préoccupait pas uniquement d'aller au but par le chemin le plus sûr et le plus court. La moindre imperfection le faisait souffrir, non parce qu'elle était une gêne, mais parce qu'elle était une tache.

Aussi, quand il aborda l'étude de la diffraction, il eut bientôt fait de remplacer cette multitude rébarbative de formules hérissées d'intégrales par une figure unique et harmonieuse que l'œil suit avec plaisir et où l'esprit se dirige sans effort. M. Cornu débuta dans la science par une théorie de la réflexion cristalline; il parvint à ramener ces lois si compliquées à des règles géométriques simples et élégantes et à construire géométriquement le plan de polarisation du rayon réfléchi à la surface d'un cristal.

Il reprit ensuite la méthode de M. Fizeau pour la mesure de la vitesse de la lumière; il introduisit dans

cette méthode d'importants perfectionnements et lui donna plus de précision, Il est certain maintenant que le chiffre définitif ne pourra pas s'écarter beaucoup de celui qu'il a trouvé.

J'ai déjà parlé de ses recherches sur la diffraction et les intégrales de Fresnel ; il n'abandonna jamais ce genre de recherches; il a particulièrement étudié les réseaux, l'influence des inégalités périodiques ou systématiques des instruments qui servent à les tracer et les propriétés focales qui résultent de ces inégalités.

Les franges d'interférence lui ont fourni aussi l'occasion de fines études; il a recherché les conditions d'achromatisme de ces franges et il s'est servi également de cet instrument si délicat pour étudier les déformations élastiques du verre. Rien de plus joli que les hyperboles irisées qu'il obtenait ainsi et qui montraient d'un coup d'œil tout l'ensemble de ces déformations infiniment petites.

Dans cette région mixte où l'optique confine à l'Electricité, il a étudié à plusieurs reprises la polarisation magnétique et tout récemment encore il a fait faire à cette partie de la science un progrès signalé. C'était au moment où le phénomène de Zeeman venait d'être découvert. Tout le monde croyait que les raies spectrales et en particulier la raie D se décomposaient en un triplet. Le premier, il vit qu'il y avait quatre composantes et que le soi-disant triplet était un quadruplet.

La spectroscopie le préoccupa beaucoup ; et en particulier l'importante question du renversement des raies; il montra clairement les conditions de ce phénomène si important en astronomie. Il a imaginé un procédé très ingénieux pour distinguer les raies telluriques des raies d'origine solaire. Il a étudié en particulier le spectre ultraviolet du soleil et son absorption par les parties supérieures de l'atmosphère. Ses études sur le spectre solaire, sur le spectre des étoiles nouvelles, sur celui de la couronne sont appréciées vivement par les astronomes.

Ce n'est d'ailleurs pas là le seul service qu'il ait rendu à l'Astronomie ; il a inventé une méthode photométrique pour l'observation des Eclipses de Jupiter. Nul ne connaissait mieux que lui les instruments d'optique et sur ce point ses lumières ont largement profité à l'astronomie. Je citerai seulement une de ses dernières créations, cette lunette zénitho-nadirale qui est une merveille de précision et une application d'une élégance inattendue des lois les plus simples de l'optique géométrique.

Je ne m'étendrai pas au sujet de ses recherches sur l'optique météorologique, mais je ne puis pas ne pas mentionner une invention très simple pour laquelle son nom devrait être béni de nombreux praticiens, car elle nous a débarrassés des inconvénients du halo photographique.

Puisque nous sommes sur les applications de l'optique, parlons encore du procédé stroboscopique si simple et si pratique qu'il a imaginé il y a quelques semaines pour déceler et mesurer les irrégularités de marche d'un alternateur.

La délicatesse de ses sens et en particulier l'extraordinaire finesse de son oreille lui furent précieuses dans d'autres recherches qu'il poursuivit en commun avec M. Mercadier. On discutait depuis longtemps sur les intervalles musicaux ; les physiciens étaient partagés, les uns tenant pour la gamme dite de Platon, les autres pour celle de Pythagore. L'expérience conduisit M. Cornu a un résultat bien inattendu. Les musiciens emploient tantôt l'une tantôt l'autre de ces deux gammes, suivant les cas. Ils ne s'en doutaient guère et ils jetèrent les hauts cris quand on les en avertit ; mais le fait n'en est pas moins hors de doute.

M. Cornu a repris la célèbre expérience de Cavendish pour la mesure de la densité moyenne du globe terrestre. Il a notablement perfectionné les méthodes, il a éliminé de nombreuses causes d'erreur et il a obtenu un nombre beaucoup plus précis que ceux qu'on possédait avant lui.

Tous les arts qui veulent de la précision l'intéressaient et tous les ans il allait à Nice examiner l'horloge astronomique qu'il y avait installée d'après des principes tout nouveaux ; il y apportait des perfectionnements incessants et il approchait chaque jour de la perfection absolue.

Dans le même ordre d'idées, il s'est occupé longtemps de la synchronisation électrique des horloges. Le problème semble facile ; mais en réalité, il exige bien des connaissances diverses ; la preuve, c'est que les nombreux principes introduits par M. Cornu et qui apportaient une solution complète et définitive, ne furent pas compris du premier coup. Les derniers annuaires du Bureau des Longitudes contiennent une série d'études consacrées par M. Cornu aux machines dynamo-électriques tant à courant continu qu'à courant alternatif ou triphasé : les notices destinées au grand public, mais qui contiennent une foule d'aperçus intéressants pour les savants eux-mêmes, seront prochainement réunies en volume. Il est peu de domaines en physique où il n'ait reculé les bornes de la précision, où il ne nous ait laissé quelque petit modèle d'une perfection achevée.

Mais l'optique l'a toujours attiré ; il y revenait sans cesse, même quand cette science était délaissée par la mode. Les instruments d'optique, la diffraction, le spectre solaire, la vitesse de la lumière surtout rappelaient constamment son attention. C'est en mesurant cette vitesse qu'il avait débuté ; il y pensait encore dans ses derniers jours. Il avait conçu des projets grandioses dont la réalisation était commencée ; il voulait faire voyager le rayon dont il devait mesurer la vitesse entre la Corse et le mont Mounier où est la succursale de l'observatoire de Nice.

Comme il aimait cet observatoire, où il allait tous les ans et où ses conseils étaient hautement appréciés ! Et comment ne pas évoquer le souvenir de ce voyage récent où nous l'avons vu au sommet de ce mont Mounier regardant la mer au-dessus de laquelle il voulait faire passer la lumière ? Avec quelle confiance il parlait de son rêve et qui de nous eût pu croire alors qu'il n'en verrait pas l'accomplissement ?

C'est que, quand il croyait au succès, on pouvait le regarder comme assuré. Sa critique était sûre et il se défiait de l'enthousiasme. Il savait de quelles embûches l'expérimentateur est environné et à quel prix la précision ou la certitude scientifique peuvent s'acquérir. Nul ne savait mieux que lui prévoir tous les pièges, et en lui donnant la main, on était certain de les éviter. Il n'est pas un physicien à qui ses conseils n'aient épargné quelque mécompte. Aussi n'était-il pas dupe de ces modes passagères qui entraînent les foules scientifiques aussi facilement que les foules vulgaires. Toujours il attendait la preuve avant de croire.

Il aimait les débutants et il cherchait à les encourager ; mais en même temps, il les prémunissait contre les écueils sur lesquels leur ardeur juvénile aurait pu les entraîner. Ceux qui avaient accepté sa discipline ne tardaient pas à reconnaître la sagesse.

H. POINCARE.

Tome XXXI. Samedi 19 Avril 1902. 9e Année. — N° 16.

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## SUR LES EXPÉRIENCES DE M. CRÉMIEU

### ET UNE OBJECTION DE M. WILSON

On sait que M. Pocklington (1) et après lui M. Wilson (2) ont dirigé contre les expériences de M. Crémieu (3) diverses critiques et qu'ils ont prétendu, par exemple, que ces expériences, loin d'être en contradiction avec les théories régnantes, en étaient au contraire une confirmation indirecte, parce que l'effet des courants de convection devait être compensé par celui des courants de conduction régnant dans l'écran qui sépare l'appareil astatique du disque tournant.

Récemment, M. Righi, dans un article du *Nuovo Cimento*, est revenu sur cette question et, sans adopter tout à fait le point de vue de M. Wilson, il dit qu'il serait désirable qu'on

(1) H.-C. Pocklington. Sur les équations de l'électrodynamique et les expériences de Crémieu. *Phil. Mag.*, 6e série, t. I, p. 325, mars 1901 ; *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 304, 25 mars 1901.

(2) H.-A. Wilson. Sur l'effet magnétique de la convection électrique, et sur les expériences de Rowland et de Crémieu. *Phil. Mag.*, 6e série, t. II, p. 144, juillet 1901 ; *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 188, 3 août 1901. — Idem, *Phil. Mag.*, 6e série, t. II, p. 319, septembre 1901 : *Écl. Élect*, t. XXIX, p. 138, 26 octobre 1901.

(3) V. Crémieu. Recherches sur l'existence du champ magnétique produit par le mouvement d'un corps électrisé. *Comptes rendus de l'Académie*, t. CXXX, p. 1544, 5 juin 1900 ; *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 425, 16 juin 1900. — Recherches sur l'effet inverse du champ magnétique que devrait produire le mouvement d'un corps électrisé, *C. R.*, t. CXXXI, p. 578, 8 octobre 1900 ; *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 131, 20 octobre 1900. — Sur les expériences de M. Rowland, relatives à l'effet magnétique de la convection électrique, *C. R.*, t. CXXXI, p. 797, 12 novembre 1900 ; *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 326, 24 novembre 1900. — Nouvelles recherches sur la convection électrique, *C. R.*, t. CXXXII, p. 327, 11 février 1901 ; *Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 419, 16 mars 1901. — Action magnétique des courants ouverts, *C. R.*, t. CXXXII, p. 1103, 6 mai 1901 ; *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 272 et 310, 18 et 25 mai 1901. — Réponse à la note de M. Wilson, *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 191, 3 avril 1901.

reprît l'étude théorique de l'influence possible d'un écran dans ces phénomènes [1].

Dans ces conditions, nous croyons utile de publier une correspondance échangée entre MM. Potier et Poincaré du 4 décembre 1900 au 13 janvier 1901.

Dans cette correspondance, l'influence de l'écran était discutée complètement et nos deux collaborateurs furent d'accord pour reconnaître que cette influence est nulle. C'était d'avance réfuter l'objection de M. Wilson.

Nos lecteurs se souviennent en effet que dès le mois de novembre 1900, M. Potier avait soulevé la question dans une courte note insérée dans ce journal [2].

Cher Confrère,

L'image ci-dessous (fig. 1) vous paraîtra-t-elle satisfaisante? Quand un point électrisé de masse $m$ se meut, le champ magnétique a pour valeur $\frac{mv \sin \alpha}{r^2}$ ; il est dépourvu de potentiel et il est facile de constater que $\int \mathcal{H}, ds$ le long d'un cercle dont l'axe est $v$ est bien la dérivée, par rapport au temps, du flux d'induction électrique à travers ce cercle. Les lignes de courant de déplacement arrivent toutes en $m$ pour s'épanouir dans l'espace.

Entourons $m$ d'un écran conducteur (fig. 1) ; toutes les lignes de courant vont se fermer par la surface interne de celui-ci, et si je décris une courbe fermée passant par A, enveloppant ou non le con-

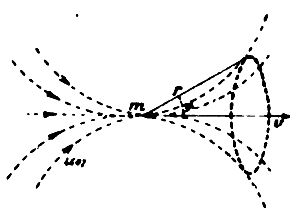



Fig. 1.

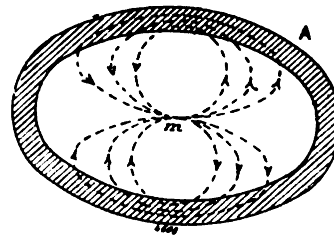



Fig. 2.

ducteur, mais ne pénétrant pas dans l'espace vide où se trouve $m$, le flux total d'induction à travers cette courbe sera *nul*, puisque les lignes de courant sont fermées à l'intérieur de l'écran ; c'est là la différence essentielle. Ainsi, il y a un potentiel magnétique uniforme à l'extérieur de l'écran. Supposez-le de révolution autour de $v$, et la force magnétique en A devra être nulle. Il est plus long de le démontrer pour une forme quelconque, mais cela suffit pour mettre en évidence le rôle de l'écran.

Votre dévoué,

A. Potier.

Mon cher Confrère,

Il était convenu que je vous écrirais le résultat de mes réflexions sur notre conversation de dimanche.

La question en litige était de savoir si les expériences de Crémieu sont ou non contraires aux idées anciennes.

---

[1] Depuis que ces lignes ont été livrées à l'impression, M. Righi est revenu sur la question dans un nouvel article du *Nuovo Cimento* et M. Levi Civiva a publié dans les *Atti dei Lincei* une analyse dont les conclusions sont tout à fait d'accord avec celles de la correspondance que nous reproduisons ici.

[2] A. Potier. Sur l'effet magnétique de la convection électrique, *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 351, 1er décembre 1900.
*N. d. l. R.*

Pour cela, il faut d'abord savoir ce que c'est que « les idées anciennes ».

Ne les cherchons pas dans Maxwell, où on trouve tout ce qu'on veut; admettons que par définition, les « idées anciennes », ce sont les idées de Hertz.

Mais, quelles sont les idées de Hertz?

Sur ce point, nous sommes, je crois, en désaccord.

En relisant le mémoire de Hertz, en rentrant, je n'ai fait que me confirmer dans ma manière de voir. Je prends le mémoire *Grundgleichungen für bewegte Körper*, et les pages de mes citations se rapportent à l'édition *Untersuchungen ueber die Ausbreitung der Elektrischen Kraft*, Leipzig, Barth, 1892 : page 264, *Den ganzen elektrodyn. Theil der Kraft* (magnétique), *erhalten wir wenn wir in dem Ausdruck* $4\pi A u$ (le courant total) *ersetzen durch*,

$$4\pi A u + A\frac{dX}{dt} + A\alpha\sum\frac{dX}{dx}. \tag{1}$$

*Der letzte Theil dieser Aussage findet in der Rowland'schen Versuche die gewünschte Bestätigung.*

A est un coefficient numérique $= \frac{1}{3.10^{10}}$ ; mais qu'est-ce que qu'$\alpha$ ? C'est la vitesse de la *matière* ; page 258, *Wo wir im Raume greifbare Materie finden, entnehmen wir der Bewegung dieser eindeutig die Werthe der* $\alpha$, $\beta$, $\gamma$.

Qu'est-ce que $\sum\frac{dX}{dx}$? c'est la densité de l'électricité VRAIE; remarquez que Hertz met un X gothique que je ne sais pas faire.

Donc $\sum\frac{dX}{dx}$ représente la charge du disque au sens vulgaire du mot et $\alpha$ sa vitesse au sens vulgaire du mot.

Il n'y a donc aucun doute sur la pensée de Hertz.

Maintenant, que devrait-il se passer, d'après les idées anciennes?

Votre raisonnement (il ne s'agit pas encore du raisonnement contenu dans votre lettre, ceci était écrit avant que je l'eusse reçue) ne m'a pas convaincu.

J'admets bien que si la vitesse est faible, la *distribution électrique* sera la même sensiblement qu'à l'état statique; mais non que le *déplacement électrique* sera le même qu'à l'état statique. Si X, Y, Z représente la force électrique, j'admets bien que

$$\frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} + \frac{dZ}{dz}$$

est le même qu'à l'état statique, mais non que X, Y, Z sont les mêmes qu'à l'état statique, parce que je n'admets pas que

$$\int (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz) = 0$$

Cela serait vrai s'il n'y avait que des courants permanents, cela ne sera pas vrai dans un régime variable.

Maintenant, voici ce que je trouve.

Considérons un appareil tel que celui de Rowland ou de Crémieu [3me communication (1)]. Il y a des parties isolantes et des parties conductrices, les unes fixes, les autres mobiles; mais de telle façon qu'il n'y ait pas de contact glissant. Il y a en outre un système astatique; on observe l'effet *moyen* éprouvé par ce système.

Dans cet appareil, règnent des courants « de convection » et de conduction. Je dis que l'effet moyen des courants de conduction dans la partie fixe est nul. Je considère un contour fermé quel-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 797, *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 326, 24 novembre 1900.

conque à l'intérieur d'une partie conductrice soit fixe, soit mobile, soit

$$\int (X dx + Y dy + Z dz)$$

l'intégrale de la force électomotrice, le long de ce contour. C'est $\frac{dJ}{dt}$, J étant le flux magnétique qui traverse le contour. Si j'appelle $\overline{X}$, $\overline{Y}$, $\overline{Z}$, les valeurs moyennes de X, Y, Z ; alors

$$\int (\overline{X} dx + \overline{Y} dy + \overline{Z} dz) = 0$$

parce que J est une fonction périodique du temps.

On aura donc

$$\overline{X} = \frac{d\overline{V}}{dx}, \quad \overline{Y} = \frac{d\overline{V}}{dy}, \quad \overline{Z} = \frac{d\overline{V}}{dz},$$

$\overline{V}$ étant ce que j'appellerai le potentiel moyen.

Si alors $u$, $v$, $w$ sont les composantes du courant, $\overline{u}$, $\overline{v}$, $\overline{w}$, leurs valeurs moyennes, C la conductibilité, on aura :

$$u = CX \qquad \text{d'où} \qquad \overline{u} = C \frac{d\overline{V}}{dx}$$

Si la partie conductrice est homogène, et que $\overline{C}$ soit une constante, on aura :

$$C \Delta \overline{V} = \sum \frac{d\overline{u}}{dx}$$

Or, $\sum \frac{d\overline{u}}{dx}$ est nul ; car $\sum \frac{du}{dx} = \frac{d\rho}{dt}$, $\rho$ densité électrique, et $\rho$ varie périodiquement. Donc $\Delta \overline{V} = 0$.

Or, la surface qui limite la partie conductrice considérée peut être divisée en deux parties. Dans la première, elle est en contact avec un diélectrique, la composante normale *moyenne* du courant de conduction est nulle, parce que la densité superficielle doit varier périodiquement. Donc $\frac{d\overline{V}}{dn} = 0$.

Dans la seconde, elle est *largement* reliée au sol ou à une source d'électricité. On a $\overline{V}$ = constante.

Donc à l'intérieur, on aura partout $\overline{V}$ = constante. Donc $\overline{u} = \overline{v} = \overline{w} = 0$.

Ou mieux, *ne supposons plus notre conducteur homogène*, ce qui sera plus général et en même temps nous permettra de prendre une couche de passage. C n'est plus une constante, mais on a :

$$\sum \frac{d\overline{u}}{dx} = \sum \frac{d}{dx} C \frac{d\overline{V}}{dx} = 0$$

On aura donc

$$\int C \left(\overline{V} - V_0\right) \frac{d\overline{V}}{dn} d\omega = \int \left(\overline{V} - V_0\right) \sum \frac{d}{dx} C \frac{d\overline{V}}{dx} d\tau + \int \sum C \left(\frac{d\overline{V}}{dx}\right)^2 d\tau$$

$V_0$ étant le potentiel constant de la source.

Les intégrales du second membre sont étendues à tous les éléments $d\tau$ d'un volume T, et celle du premier membre à tous les éléments $d\omega$ de la surface S qui limite ce volume. Quant à S, elle se composera de deux parties : l'une dans le diélectrique, en dehors de la couche de passage ($C = 0$), l'autre dans la partie largement reliée à la source ($V = V_0$).

Donc la première intégrale = 0, la seconde également.

$$\int \sum C \left(\frac{d\overline{V}}{dx}\right)^2 d\tau = 0$$

Donc $\frac{d\overline{V}}{dx} = 0$, et $\overline{u} = \overline{v} = \overline{w} = 0$

Dans un conducteur mobile, le courant moyen est également nul, mais il n'est pas certain que son effet moyen soit nul, parce qu'il bouge.

Voyons maintenant les objections possibles.

1° Voici deux disques circulaires métalliques D et D' au sol ; entre les deux, tourne une masse électrisée M. Cette masse induit sur D et D' des charges C et C' qui tournent avec elle ; il semble que les courants correspondants à ces charges contrebalancent le courant de convection dû à M.

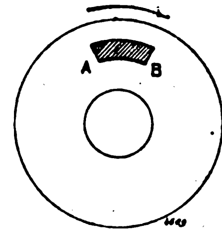


Fig. 3.

Je couvre de hachures la partie du disque qui est ainsi électrisée par influence (fig. 3). Si le disque tourne dans le sens de la flèche, la charge se déplace dans ce même sens ; d'où l'on pourrait conclure qu'il y a un courant de conduction dans ce sens, et dans ce sens seulement. Ce serait une erreur ; il y a un fort courant de conduction dans ce sens ; mais il y a un faible courant de conduction dans le sens contraire qui fait tout le tour du disque. Ce courant est plus faible, mais il est plus long ; en chaque point du disque, il règne plus longtemps que le courant fort, de sorte qu'il y a compensation et que le courant moyen reste nul.

2° Passons au raisonnement de votre lettre.

A l'extérieur de l'écran, il y a un potentiel magnétique (accordé). Si tout est de révolution, le champ magnétique est nul (accordé) ; il en est encore de même si tout n'est pas de révolution ; cela, je ne l'accorde pas. Mais alors, si j'ai un écran de révolution et qu'une masse électrique se déplace suivant l'axe ? dans ce cas, le mouvement de cette masse est rectiligne et le phénomène ne présente plus la périodicité qui est essentielle à mon raisonnement.

3° Théorie des sheets et des écrans électromagnétiques. Si un écran est parfaitement conducteur de l'autre côté, la force électrique est nulle. Donc $\frac{d\alpha}{dt} = 0$, donc le champ magnétique est constant ; mais cela ne prouve pas qu'il est nul. Mais s'il est nul au début, il devra être nul tout le temps. Oui, mais l'écran n'est pas parfaitement conducteur. Nous partons du repos et nous tendons vers un état de régime périodique. Plus la conductibitité sera parfaite, plus tard sera atteint l'état final où le champ magnétique est constant, mais pas nul ; mais il finira toujours par l'être. Et alors ma conclusion, c'est que les expériences de Crémieu paraissent inexplicables avec les idées anciennes. Devons-nous adopter son explication, à laquelle il n'a pas d'ailleurs donné une forme définitive ? Cela, c'est une autre affaire, et je me réserve.

H. Poincaré.

Mon cher Confrère,

Je vous remercie de votre intéressante lettre. Vous voulez une couche de passage entre le diélectrique (vernis) et le vide ; je n'y vois pas d'inconvénient, (puisque par hypothèse $\rho = 0$, dans cette couche). Avec vos hypothèses, on peut même intégrer complètement, si on suppose connus les potentiels $\int \frac{\rho\xi}{r} d\tau$, $\int \frac{\rho\eta}{r} d\tau$, dans le cas du mouvement permanent $\left(\frac{d\rho}{dt} = \frac{df}{dt} = \frac{dg}{dt} = 0\right)$, mais pour moi, la difficulté n'est pas supprimée pour cela.

C'est sur l'autre couche, où $\rho$ et $\xi$ existent que je voudrais appeler votre attention ; on admettait, et je crois me rappeler avoir vu cette doctrine dans votre ouvrage, une séparation brusque du *conducteur* et du diélectrique, l'électricité occupant une couche très mince dans le métal ; on professe aussi que quand la distribution change, c'est par des courants dans cette couche même, si les changements ne durent pas trop longtemps, mais ces courants pénètrent dans le métal, petit à petit.

La manière d'être de cette couche me paraît le point capital. En effet, toute intégration dans le diélectrique fera apparaître des fonctions arbitraires, l'une potentiel électrostatique, l'autre

potentiel vecteur correspondant à des masses ou courants hors du diélectrique, c'est-à-dire dans le corps en mouvement, et qui ne peuvent être déterminées que si on intègre également dans le conducteur, et qu'on exprime les conditions aux limites.

Par exemple, la condition $\sum \frac{du}{dx} = 0$, détermine la valeur de la composante normale du courant à l'intérieur du métal ; c'est donc un courant de *conduction* qui accompagne forcément le mouvement.

Ces courants de conduction, quand le régime permanent est établi, détruisent complètement (dans un bon conducteur) les courants $\rho\xi$, $\rho\eta$ pour le cas d'un solide de révolution tournant autour de son axe, de sorte que le champ magnétique est nul à l'extérieur.

Il n'en serait plus ainsi si le disque était un diélectrique chargé d'électricité vraie, et il est intéressant de noter en passant que Maxwell indique, comme projet d'expérience, l'emploi d'un disque isolant (§770) ; et que les expérimentateurs ont cru devoir diviser leurs disques.

Voilà les raisons qui m'empêchent d'adhérer complètement à votre doctrine ; j'admets les équations de Hertz, lorsque le milieu est l'air, mais il s'agit de les appliquer en tenant compte des conditions physiques du phénomène, c'est cette conductibilité qui fait pour moi la différence entre l'induction dite unipolaire magnétique, et le cas du disque chargé.

Votre bien dévoué,

A. POTIER.

*P. S.* — 1° Formez, pour le diélectrique ambiant, le vecteur $u = \frac{df}{dt}$, $v = \frac{dg}{dt}$, $w = \frac{dh}{dt}$ ; c'est le courant total pour cette région de l'espace, 2° fermez ces courants par des courants *totaux*, répartis dans une très petite épaisseur de la matière conductrice mobile. Calculez $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, résultant de l'ensemble ainsi constitué.

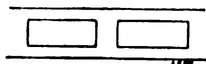


Fig. 4.

On voit que seul, l'espace balayé par le conducteur (fig. 4) intervient par des courants toujours de même sens. Mais la présence d'un conducteur fixe voisin (écran) a une action, parce qu'elle modifie les trajectoires, en attirant en dehors de l'espace balayé, les courants $u$, $v$, $w$.

Dans le cas d'un solide de révolution, $u$, $v$, $w$ sont nuls partout.

On est ainsi dispensé, je l'espère, d'épiloguer sur les variations de C, de K, et de la conductibilité dans cette couche, et on reste dans les termes de la théorie de Maxwell ; ce qui n'empêchera pas de faire intervenir, si l'on veut, les électrons, ou ions à la mode.

A. POTIER.

Mon cher Confrère,

J'avais cru comprendre votre pensée, mais je m'aperçois que je ne l'ai pas encore saisie.

J'avais cru que vous acceptiez les équations de Hertz ; maintenant je n'en suis plus sûr, et je ne sais pas quelles sont celles que vous proposez de mettre à la place.

Je ne comprends pas non plus si ces courants de conduction (qui, d'après vous, compenseraient les courants de convection) siègent dans le disque mobile lui-même, ou dans l'écran fixe.

Dans ce dernier cas, je vous demanderais si vous n'admettez plus ce que je vous avais dit dans une de mes premières lettres, au sujet de l'effet moyen nul des courants de conduction de l'écran fixe quand le phénomène est périodique.

Dans la couche de passage vernis-air, il est vrai que $\rho$ est nul, mais cela ne fait rien. Il y a dans la couche de passage métal-vernis, un courant de convection de Rowland et un « courant de Röntgen ». Ces deux courants se compensent.

$$[f] = [g] = [h] = 0$$

C'est ce que vous avez montré dans votre avant-dernière lettre.

Dans la couche de passage vernis-air ; il ne peut y avoir de courant de Rowland, puisque $\rho = 0$,

mais il y a un courant de Röntgen qui compense le courant de Röntgen de l'autre couche de passage.

A vous, de tout cœur,

POINCARÉ.

Mon cher Confrère,

J'admets

$$u = \frac{df}{dt} + \rho\xi + \left(\frac{\partial Y}{dz} - \frac{\partial Z}{dy}\right) = \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

dans un diélectrique ; j'admets

$$u = p$$

dans un métal ; j'y ajoute l'équation de liaison

$$(lu + mv + nw) = l\frac{\partial f}{\partial t} + m\frac{\partial g}{\partial t} + n\frac{\partial h}{\partial t}$$

sur la surface de séparation.

Ceci mène, pour le disque, à

$$u = v = w = 0;$$

dans le disque, les *curls* de (XYZ) nuls partout dans le diélectrique, sauf la couche de passage, ou

$$\rho\xi = 0 : \frac{df}{dt} = 0,$$

et

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0;$$

enfin les valeurs de $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ sont

$$\alpha + 4\pi X = 0 \qquad \beta + 4\pi Y = 0 \qquad \gamma + 4\pi Z = 0$$

dans tous les diélectriques fixes ou mobiles; $\alpha = \beta = \gamma = 0$ dans le disque, je crois; excusez-moi de ne pas refaire les calculs pour le chapelet et l'influence de la paroi qui agit indirectement en changeant les valeurs de $f$, $g$, $h$, dans l'espace balayé par le chapelet, où ils sont périodiques, mais avec $\frac{df}{dt}\frac{dg}{dt}\frac{dh}{dt}$ toujours de même signe, à cause des discontinuités.

Votre bien dévoué,

A. POTIER.

Mon cher Confrère,

Vous me demandez des équations; celles de Maxwell ou de Hertz, si vous préférez, me semblent bien suffisantes. Je traite ci-dessous deux cas simples : dans l'un seulement on a besoin des équations relatives au milieu en mouvement. Ou bien j'interprète correctement les principes, et alors il résultera que les expériences de Crémieu ne sont pas en contradiction avec l'idée qu'une masse en mouvement crée un champ magnétique; ou bien je suis victime d'une illusion, qui apparaîtra plus facilement dans les cas simples ci-joints, alors je n'aurai qu'à m'incliner; sinon *tout en étant absolument d'accord* avec vous sur l'absence d'effets magnétiques permanents des courants de conduction de l'enveloppe, il me sera facile de montrer que l'effet sur l'aiguille tend vers zéro à mesure 1° que les parois se rapprochent du disque ; 2° que les segments chargés sont plus voisins ; mais ce ne serait que de la divagation, si vous n'admettez pas mes bases.

Votre bien dévoué,

A. POTIER.

Disque continu (vernissé, puisque vous le préférez) ; s'il y a courant, ce ne peut être que sur le disque. Si celui-ci est dans le plan $xy$, $\xi = -\omega y$, $\eta = \omega x$, $\zeta = 0$, $f = g = 0$, et $h = f(z)$.

***

$\rho = \frac{dh}{dz}$ ; les seuls termes utiles sont $[f]$, $[g]$, $[h]$, *p.* 380, (1) et l'on trouve $[f] = [g] = [h] = 0$, donc pas de force magnétique.

Action des parois. — Une masse A, part de $A_1$, va en $A_2$ et s'y arrête (fig. 5). Soit $\beta$, la force magnétique en M et $\int \beta dt$, l'impulsion totale.

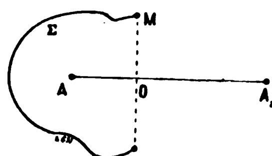


Fig. 5.

$$2\pi\,\mathrm{OM}.\int \beta dt = 4\pi \times$$ la variation du déplacement à travers une surface $\Sigma$ limitée au cercle de rayon OM, soit

$$\frac{m}{\mathrm{OM}}\left(\frac{A_1O}{A_1M} + \frac{A_2O}{A_2M}\right)$$

Supposons un tuyau conducteur entourant $A_1A_2$ et fermé aux deux bouts, qu'il soit ou non mis à la terre, il faut considérer, outre le déplacement ci-dessus, les déplacements dus aux charges négatives de la partie interne du tuyau qui se trouvent concentrées près de $A_1$ ou près de $A_2$, et détruisent d'autant plus complètement l'effet de $A_1$ et de $A_2$, 1° que $A_1$ et $A_2$ sont plus loin, 2° que le tuyau est plus étroit.

A. P.

Mon cher Confrère,

Voici les réflexions que m'inspirent vos deux exemples :

*Premier exemple.* — On n'a $\xi = -\omega y$, $\eta = \omega x$ que dans le disque ; dans l'atmosphère, on a $\xi = \eta = 0$, et il y a une couche de passage où $\xi$ et $\eta$ varient très rapidement. Il faut tenir compte de cela.

Pour faciliter le calcul, je m'en vais encore simplifier votre exemple ; je suppose qu'au lieu d'une rotation, on ait une translation, chaque petit cylindre parallèle à l'axe des $x$ subit une translation dans le sens de ses génératrices. Seulement, la vitesse de translation n'est pas la même pour tous les cylindres.

En d'autres termes, on a

$$\eta = \zeta = 0, \qquad \xi = f(y, z)$$

indépendante de $x$ et de $t$.

Je suppose que tout est permanent dans le temps et par rapport à $x$.

Toutes les dérivées $\frac{d}{dt}$ et $\frac{d}{dx}$ sont nulles.

Le champ doit alors être perpendiculaire à l'axe des $x$, c'est-à-dire que

$$f = 0, \qquad \rho = \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz};$$

Les courants se réduisent à $[f]$, $[g]$, $[h]$, et on trouve

$$[g] = [h] = 0;$$

$$[f] = \frac{d(g\xi)}{dy} + \frac{d(h\xi)}{dz} - \xi\left(\frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz}\right) = g\frac{d\xi}{dy} + h\frac{d\xi}{dz}$$

Supposons maintenant que tout soit de révolution autour de l'axe des $x$; on a :

$$y = r\cos\varphi, \qquad z = r\sin\varphi$$

$$\frac{d\xi}{dy} = \frac{d\xi}{dr}\cos\varphi, \qquad \frac{d\xi}{dz} = \frac{d\xi}{dr}\sin\varphi$$

$$\alpha = 0; \quad \beta = -\mathrm{M}\sin\varphi, \quad \gamma = \mathrm{M}\cos\varphi$$

---

(1) Ce renvoi de page se rapporte à la 2e édition de l'ouvrage *Électricité et Optique*, de M. Poincaré ; les notations $[f]$, $[g]$, $[h]$ sont définies dans cet ouvrage.

M champ magnétique.

$$f = 0\,; \quad g = \mathrm{E} \cos \varphi, \quad h = \mathrm{E} \sin \varphi$$

E champ électrique :

$$[f] = \frac{d\xi}{dr}(g \cos \varphi + h \sin \varphi) = \mathrm{E}\frac{d\xi}{dr} \qquad 2\pi \mathrm{M}r = 4\pi \int 2\pi r dr\,[f]$$

$$\mathrm{M}r = 4\pi \int_0 r\,[f]\,dr = 4\pi \int r d\xi\,\mathrm{E} \qquad \frac{d(\mathrm{M}r)}{dr} = 4\pi r \mathrm{E}\frac{d\xi}{dr}$$

D'autre part :

$$\frac{d(\mathrm{E}r)}{dr} = r\rho$$

Telles sont les équations qui définissent les deux champs électrique et magnétique.

En intégrant par parties, je trouve :

$$\int_0^r \mathrm{E}r d\xi = \Big[\mathrm{E}r\xi\Big]_0^r - \int_0^r \xi \frac{d(\mathrm{E}r)}{dr}\,dr$$

Si $r$ est assez grand pour que l'on se trouve dans l'espace qui est en repos, l'expression $\mathrm{E}r\xi$ s'annule aux deux limites, de sorte qu'il reste :

$$\mathrm{M}r = -4\pi \int \xi \frac{d\mathrm{E}r}{dr}\,dr = -4\pi \int r\rho\xi dr$$

et nous retombons sur le courant de convection pur.

Mais il est temps d'aborder le cas de la rotation :

Posons

$$x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta$$

et soit $\omega$ la vitesse angulaire qui dépendra de $r$ et de $z$, mais pas de $\theta$ ni de $t$.

Nous poserons :

$$f = \mathrm{E} \cos \theta, \quad g = \mathrm{E} \sin \theta$$

E composante du champ électrique suivant le rayon vecteur $r$ ; l'autre composante est $h$.

De même :

$$\alpha = \mathrm{M} \cos \theta, \quad \beta = \mathrm{M} \sin \theta$$

M composante du champ magnétique suivant $r$, l'autre composante est $\gamma$.

On a ensuite :

$$\xi = -r\omega \sin \theta \quad \eta = r\omega \cos \theta, \quad \zeta = 0$$

Les expressions qui entrent dans $[f]$, etc. sont :

$$h\eta - g\zeta = hr\omega \cos \theta = \mathrm{X}$$
$$f\zeta - h\xi = hr\omega \sin \theta = \mathrm{Y}$$
$$g\xi - f\eta = -\mathrm{E}r\omega = \mathrm{Z}$$

Je trouve ensuite :

$$\int (\mathrm{X}dx + \mathrm{Y}dy + \mathrm{Z}dz) = \int (hr\omega dr - \mathrm{E}r\omega dz)$$

Or, le premier mombre peut s'écrire : (Théorème de Stokes).

$$\int (l\mathrm{A} + m\mathrm{B} + n\mathrm{C})d\Omega$$

Remarquons que dans toutes ces expériences, on observe l'effet moyen sur une aiguille aimantée

(troisième communication) ou bien l'effet d'induction sur un circuit interrompu de temps en temps (première communication).

Mais, dans ce dernier cas, les interruptions se font à des intervalles de temps qui n'ont aucun rapport avec la période de la rotation ; de sorte que cela revient encore au même ; l'effet moyen des courants de conduction qui peuvent régner dans la partie fixe devient nul.

C'est pourquoi j'avais demandé à M. Crémieu, au mois de juillet dernier, de monter l'expérience suivante :

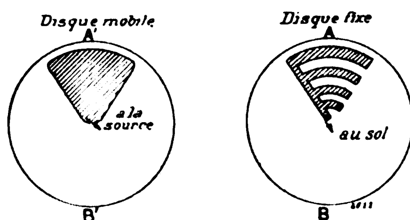


Fig. 6.

Les parties dorées sont couvertes de hachures (fig. 6), elles sont soit au sol, soit à la source, par leur *centre*.

Lorsque le diamètre A'B' du disque mobile coïncide avec le diamètre AB du disque fixe, les parties dorées sont en regard et forment condensateur. Mais l'angle du secteur doré mobile est un peu plus petit que celui du secteur doré fixe. Le secteur doré mobile prend donc une charge +, et le secteur doré fixe prend une charge — mais seulement en face du secteur mobile. La charge + du premier se transporte par convection, la charge — du second se transporte parallèlement par conduction.

Donc si le courant de conduction agit et que le courant de convection n'agisse pas, il y aura un champ ; si les deux courants agissent, il n'y en aura pas.

Dans la position inverse, lorsque A'B' coïncidera avec BA, les deux secteurs n'étant pas en face l'un de l'autre, ne prendront qu'une charge insignifiante, et il n'y aura pas de champ.

Prenons la disposition de la première communication, et supposons qu'on interrompe le circuit du galvanomètre dans la première position, par exemple, et qu'on le rétablisse dans la seconde. Alors il y aura un effet si un seul des deux courants agit (idées de M. Crémieu), et il n'y en aura pas s'ils agissent tous deux (idées anciennes).

Seulement pour cela, il faut que l'interruption soit synchrone de la rotation du disque.

La construction de l'interrupteur synchrone pourra présenter des difficultés, mais M. Crémieu espère en triompher.

Seulement, la première chose à faire était de reprendre et de varier l'expérience de Rowland proprement dite (troisième communication). C'est ce qu'il fait dans ce moment.

Pardonnez-moi la longueur de ma lettre, et croyez à mes sentiments les plus dévoués,

POINCARÉ.

Mon cher Confrère,

Je crois être arrivé à intégrer les équations de Hertz, dans le cas qui nous occupe ; je suppose la couche diélectrique-vide de passage infiniment mince, et la surface même du diélectrique équipotentielle.

Si $D_0$ est le déplacement d'un point de cette surface, $V_0$ sa vitesse (prise dans le diélectrique lié au conducteur) et $\alpha$ l'angle de ses deux secteurs : je trouve :

1° Les courants de déplacement de tout le champ sont équivalents à des courants normaux à la couche de passage, d'intensité $D_0 V_0 \cos \alpha$ par unité de surface.

2° Les courants sur la couche de passage sont superficiels, dirigés suivant la projection de la vitesse sur la surface d'intensité $D_0 V_0 \sin \alpha$.

L'ensemble équivaut à des courants $D_0 V_0$, dirigés suivant la vitesse, c'est-à-dire que l'on a

$$\alpha = \frac{d}{dz} \int \frac{D_0 \eta_0}{r} d\omega - \frac{d}{dy} \int \frac{D_0 \zeta_0}{r} d\omega$$

et l'on peut vérifier

1° qu'en un point de l'espace

$$\frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} = \frac{d}{dy} \int D_0 \left( \xi \frac{d\frac{1}{r}}{dx'} + \eta \frac{d\frac{1}{r}}{dy'} + \zeta \frac{d\frac{1}{r}}{dy'} \right) d\omega = \frac{d}{dy} \int D_1 \frac{d\frac{1}{r}}{dt} d\omega = 4\pi \frac{dg}{dt}.$$

à cause de

$$4\pi g = \frac{d}{dy}\int D_0 \frac{1}{r} d\omega$$

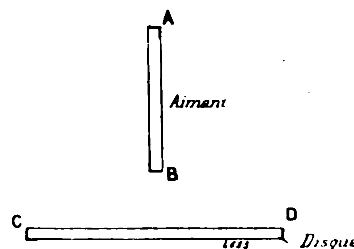


Fig. 7.

2° pour un petit contour $\int (\alpha dx + \beta dy + \gamma dz) = \begin{vmatrix} dx_1 & dy_1 & dz_1 \\ \xi & \eta & \zeta \\ f & g & h \end{vmatrix}$

si $dx_1$, $dy_1$, $dz_1$ est l'élément de la surface de séparation, soit $D_0V_0$ sin $\alpha ds$ pour un élément normal à la vitesse et zéro pour un élément suivant la projection de la vitesse. On retombe donc sur vos conclusions peut-être un peu précisées ; je ne m'attendais pas au rôle de l'épaisseur du diélectrique ; dans le cas d'une sphère tournant autour de son axe, à charge égale, les $\int D_0\, d\omega$ restent les mêmes, mais $\xi, \eta, \zeta$ croissent comme le rayon.

Votre manière de voir est encore corroborée par les considérations suivantes. Quand un aimant AB tourne autour de son axe, *on admet* qu'il produit un champ électrostatique ; donc, il attirera un disque chargé CD. Réciproquement, si on fait tourner CD en sens contraire, il doit attirer AB, c'est-à-dire produire un champ magnétique. Seulement, où en sont les vérifications expérimentales ?

Votre bien dévoué,

A. Potier.

# CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE A GRANDE VITESSE DE ZOSSEN

## II. — Description de la voiture Siemens et Halske et de l'installation de la ligne.

Après avoir, comme nous l'avons vu, (1) énuméré et étudié les conditions à remplir pour les différentes parties de l'installation, l'auteur passe à la description détaillée de cette installation, telle que l'a exécutée la maison Siemens et Halske.

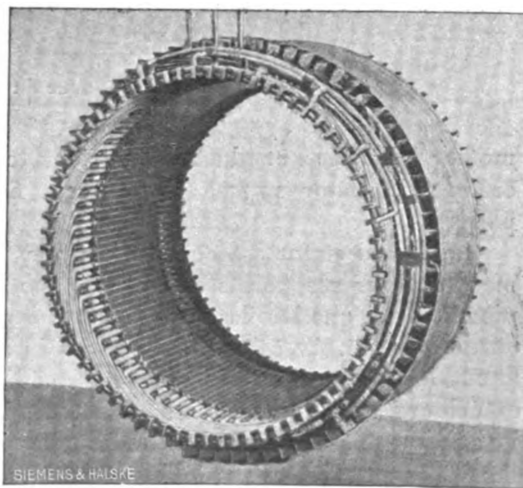


Fig. 14. — Fer du stator en un seul bloc.

1° Moteurs. — Chacun des moteurs doit avoir une puissance normale de 250 chevaux, et pouvoir développer pendant le démarrage une puissance triple ; soit 750 chevaux ; de plus, ses dimensions d'encombrement sont limitées par l'espace disponible entre les roues, la voie et la caisse de la voiture. Or, l'expérience de plus petits moteurs de tramway montre que, pour un excès de température de 75°, on peut faire de très bons moteurs fermés, à raison de 5 chevaux par 100 kg, pour une vitesse périphérique de 36 m : sec. ; ce qui conduit pour le moteur cherché à 5 000 kg, en admettant que le raisonnement puisse s'appliquer aux gros moteurs. Comme exemple de moteurs analogues, on peut citer le moteur Ganz de la ligne Lecco-Colico-Sandrio (2), qui développe 150 chevaux à 300 t : m, avec un poids de 3 500 kg, et le moteur Œrlikon, du chemin de fer de la Jungfrau (3), qui, avec un poids de 2 200 kg, a une puissance de 120 chevaux et est complètement ouvert.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 7, 5 avril 1902. (2) Voir *Engineer*, mars 1901.
(3) Voir *Schweizerische Bauzeitung*, 2 février 1901.

De la place disponible sur la voiture, on déduit qu'un poids de 4 000 kg, sans arbre, sera admissible : étant donné ce poids, et la nécessité de fermer le moteur à cause de la poussière, on voit, d'après les moteurs cités plus haut, que la puissance exigée sera difficilement atteinte pendant un long intervalle de temps : il faudra diminuer la durée d'emploi et recourir à une ventilation artificielle.

Avec 6 pôles, le moteur tourne à 900 t : m, et commande directement l'essieu : le rotor est, d'ailleurs, calé directement sur cet essieu sans suspension d'aucune sorte, à l'inverse de ce qui a été fait dans les locomotives de Baltimore et Ohio, où l'on emploie un ressort pour relier le

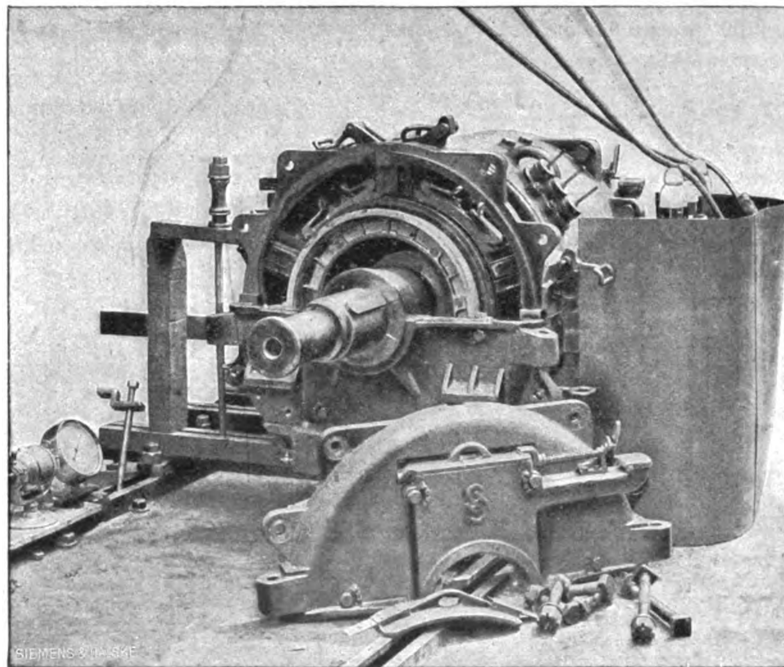


Fig. 15. — Vue du moteur avec un demi-flasque enlevé.

moteur à l'arbre, et du moteur Ganz, cité plus haut, où la commande se fait par un arbre creux ; le stator repose directement et rigidement sur l'arbre par des flasques portant les paliers.

Le fer du stator est en un seul bloc (fig. 14), mais le bâti en acier coulé, qui repose directement en tous ses points sur le fer pour mieux assurer l'écoulement de la chaleur, est en deux pièces, ainsi que les flasques portant les paliers : la figure 15 représente le moteur avec un demi-flasque enlevé. Avec les deux moitiés inférieures des flasques sont venues de fonte des pattes qui fixent le moteur au bogie par l'intermédiaire de ressorts. Les paliers comportent des coussinets extérieurs en acier très robustes, et des coussinets intérieurs en bronze avec métal antifriction. Le graissage est assuré par des mèches à huile, et les gouttes de cette huile, qui glissent sur l'arbre, sont rejetées par la force centrifuge au moyen d'un anneau effilé solidaire de l'arbre, dans des réservoirs situés à la partie inférieure du palier.

Le primaire comporte 90 dents, le secondaire 72 ; l'enroulement est à 6 pôles. La fréquence étant donnée, l'échauffement du fer primaire dépend surtout de la saturation : d'autre part, le couple dépend du diamètre du rotor, et le diamètre extérieur est limité par l'espace disponible. Il est donc préférable de placer le primaire à l'intérieur, ce qui permet de lui donner une section de fer suffisante pour que l'induction y soit faible; d'autre part, le secondaire, devenu le stator, peut se contenter, à cause de la faible fréquence des courants qui le parcourent, d'une section

très petite : on aura ainsi un rotor d'un diamètre suffisamment grand, tout en restant pour le diamètre extérieur dans les limites imposées par l'espace disponible.

On arrive ainsi à un diamètre du rotor de 780 mm, pour un diamètre extérieur de 1050 mm; les autres dimensions du moteur sont indiquées sur la figure 18.

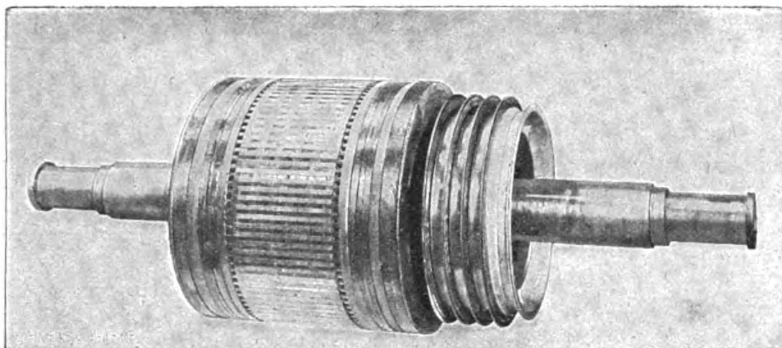


Fig. 16. — Vue du rotor.

Le rotor porte trois bagues en excellent bronze sur lesquelles appuient normalement, par des ressorts, 8 balais en charbon, répartis sur une circonférence à l'intérieur du bâti, et accessibles par des trappes; le fer est constitué par des tôles découpées en un seul morceau et réunies en un bloc (fig. 16).

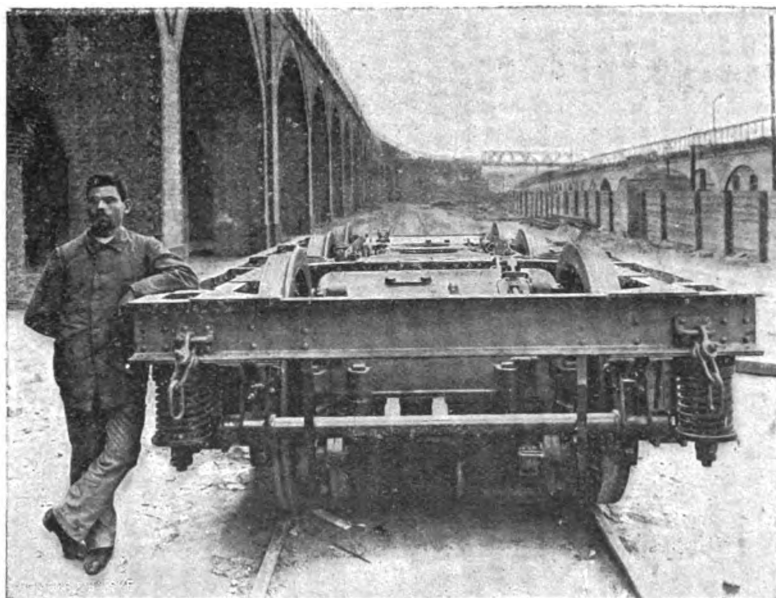


Fig. 17. — Vue du moteur monté sur le bogie.

Il est enroulé en tambour comme une dynamo à courant continu, au moyen de barres placées dans des dents ouvertes, isolées au mica, et maintenues en place par des coins. Le stator porte un enroulement triphasé ordinaire, exécuté avec des barres, isolées au mica, dans des encoches repercées.

La figure 17 donne une vue du moteur monté sur le bogie et la figure 18, une coupe par l'axe du moteur.

2° Résistances et démarreurs. — Le démarrage du moteur s'obtient, comme à l'ordinaire, par l'intercalation, dans le secondaire, de résistances que l'on fait décroître progressivement jusqu'au court-circuit.

Elles sont divisées en 29 échelons dont 4 pour la mise en route, et 25 pour le réglage de la

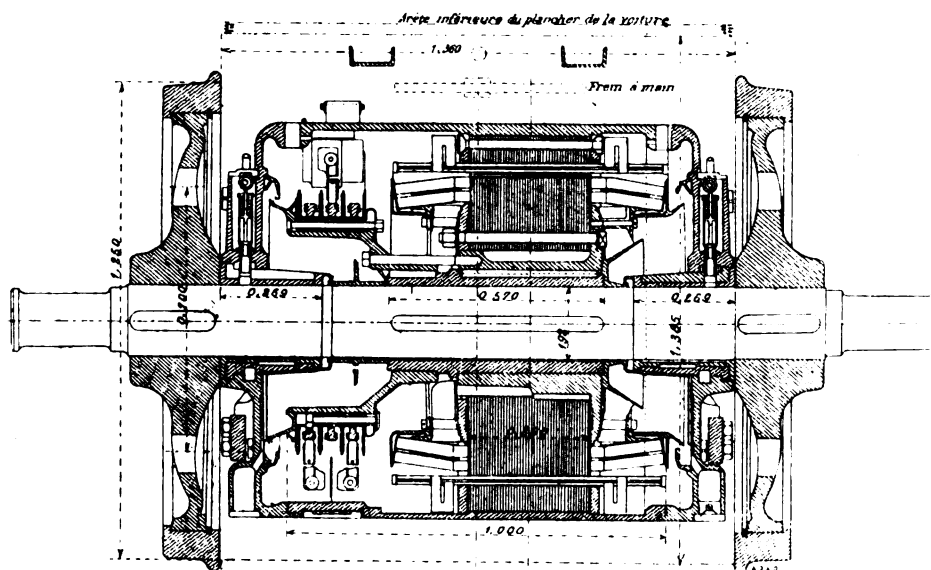



Fig. 18. — Coupe par l'axe du moteur.

vitesse, et sont placées tout près des démarreurs destinés à les commander. Elles nécessitent une place assez considérable et, pour ne pas augmenter les dimensions de la voiture, on a eu l'idée de les placer tout le long des parois latérales de la voiture entre l'appui inférieur des fenêtres et le

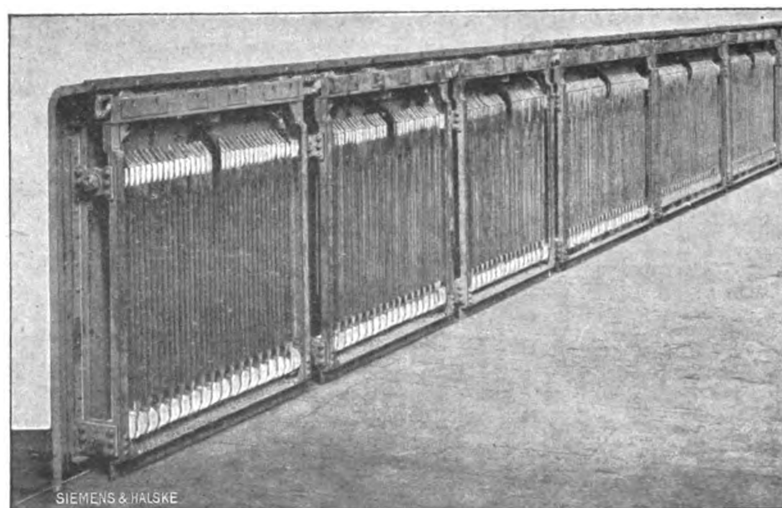



Fig. 19. — Résistances dans leurs boites à raison de deux par phase.

longeron inférieur de la caisse de la voiture : elles sont enfermées dans des caisses ouvertes en forme de jalousies, pour assurer une bonne ventilation ; ces caisses sont au nombre de deux pour chaque phase, une petite, longue de 140 mm, contenant les 4 premiers échelons, une grande de 1 560 mm,

contenant les 25 autres, et présentent une profondeur de 150 mm. Les connexions de caisse à caisse sont à la partie supérieure et les connexions de la caisse au démarreur sont à la partie inférieure (fig. 19).

Les résistances sont constituées par des bandes de kruppine de 45 × 2 mm, sur des poulies séparées par des isolateurs en porcelaine ; elles sont placées normalement à l'axe du véhicule et portent une cannelure profonde de 8 mm, dans le sens de la longueur ; la tige supérieure qui les

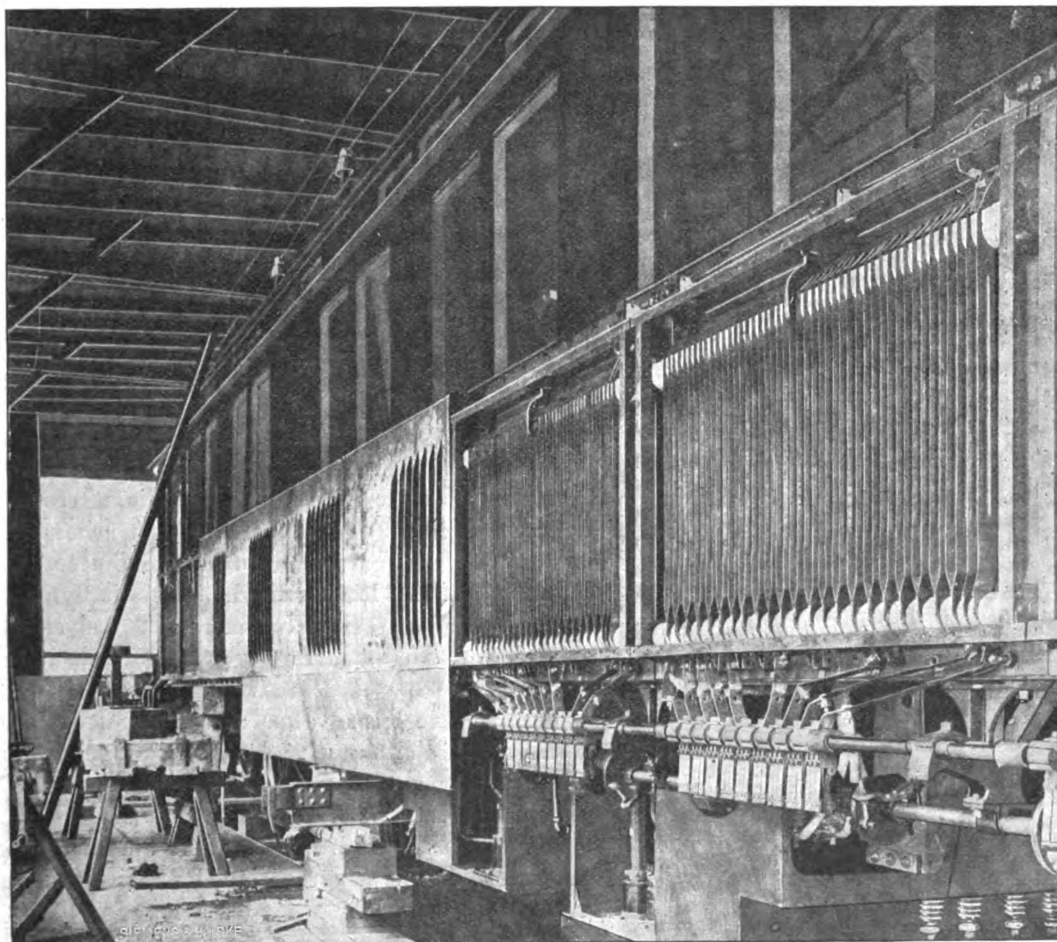


Fig. 20. — Photographie de la voiture laissant voir la disposition des résistances le long de la caisse ainsi que les rouleaux des démarreurs.

supporte est rigidement fixée à la caisse, la tige inférieure est mobile pour permettre l'allongement qui résulte de leur grand échauffement. Pour chaque phase de chaque moteur, il y a un rouleau de démarreur : tous ces rouleaux sont placés parallèlement à l'axe de la voie, immédiatement sous les caisses de résistance (fig. 20). Ils portent des pièces de bronze disposées suivant une rampe hélicoïdale : les frotteurs correspondants sont placés, par l'intermédiaire d'isolants, sur deux tubes d'acier horizontaux, fixés à des supports en acier, qui sont boulonnés sur le longeron inférieur de la caisse, et servent en même temps de paliers à l'arbre des démarreurs. Pour éviter l'emploi de 25 contacts de réglage par phase, les différentes résistances sont enlevées successivement et non simultanément dans les trois phases : de même les résistances des 4 moteurs ne sont mises en circuit que successivement, au démarrage, ce qui diminue l'à-coup occasionné sur le réseau, sans exiger un trop grand nombre de résistances.

....

La commande des arbres des démarreurs placés des deux côtés de la voiture, se fait au moyen de 4 chaînes, résistant à un effort de 2 500 kg, par un arbre en acier qui va tout le long de la voiture sous le milieu du plancher, d'une cabine à l'autre; cet arbre porte 4 roues dentées

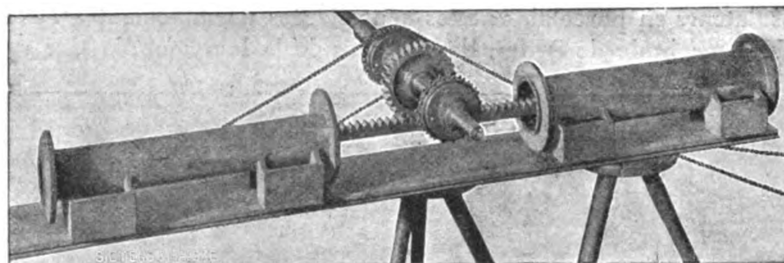


Fig. 21. — Dispositif de deux cylindres à air comprimé pour la commande des arbres des démarreurs.

commandant les 4 chaînes, et deux roues à arrêts, dont les dents correspondent à la position exacte des contacts.

Le mécanicien agit sur cet arbre au moyen d'un volant et d'un engrenage conique : pour qu'il n'ait pas d'effort trop violent à faire, il est aidé dans ce mouvement par un dispositif de commande à air comprimé disposé comme suit : au milieu de la voiture, perpendiculairement à la voie, sont disposés en regard deux cylindres à air comprimé, de diamètres inégaux (fig. 21), dont les tiges de piston sont accouplées sur une crémaillère, entraînant une roue dentée solidaire du grand arbre longitudinal. Le petit cylindre est toujours sous pression et maintient les résistances hors circuit. Au démarrage, on envoie de l'air dans le gros cylindre, qui, l'emportant sur le petit, entraîne l'arbre dans le sens voulu : la puissance du grand cylindre est, d'ailleurs, réglée pour que le mécanicien puisse rester autant qu'il le veut, sur chaque plot. Pour l'arrêt, le petit cylindre agit seul, l'air étant chassé du gros cylindre, et ramène automatiquement, sans intervention du mécanicien, les résistances jusqu'à la mise hors circuit.

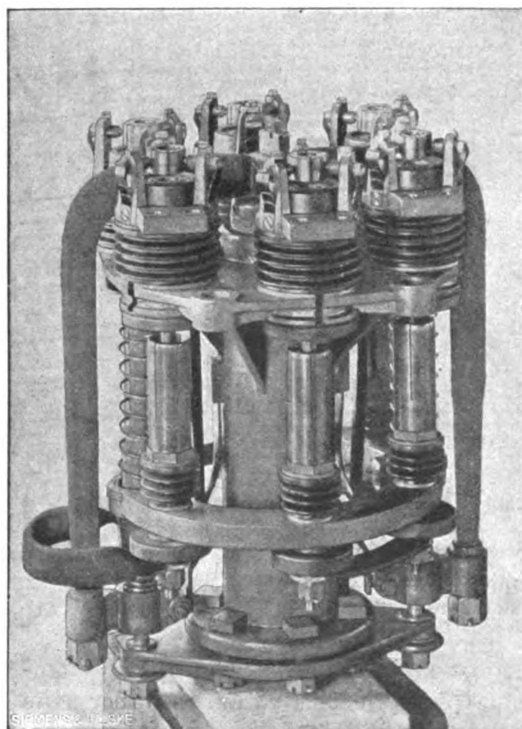


Fig. 22. — Interrupteur à tube.

3° Interrupteurs et coupe-circuits de moyenne tension. — Chaque moteur reçoit le courant du transformateur par l'intermédiaire de trois coupe-circuits et d'un interrupteur tripolaire de moyenne tension, ce qui répartit la puissance entre 4 interrupteurs, et permet de mettre hors circuit facilement un moteur avarié.

L'interrupteur est du type breveté (D. R. P. 1143 B), connu sous le nom d'interrupteur à tube, dans lequel l'arc est produit dans un tube étroit isolant, où il est refroidi par l'action d'un anneau métallique. Chaque phase comporte une double coupure, d'où 6 contacts qui sont répartis sur un cercle, le cylindre de commande par l'air comprimé étant placé au milieu de ce cercle (fig. 22). Chaque contact se compose d'un contact principal et d'un souffleur; les parties mobiles sont reliées à un plateau commandé par le piston du cylindre à air : la commande se fait par l'intermédiaire d'un ressort et d'un déclic, pour assurer l'égal enfoncement des branches dans

les mâchoires, quelle que soit la pression de l'air. Sont faits d'une façon analogue les interrupteurs qui servent à réaliser la connexion du transformateur, l'un en triangle, l'autre en étoile.

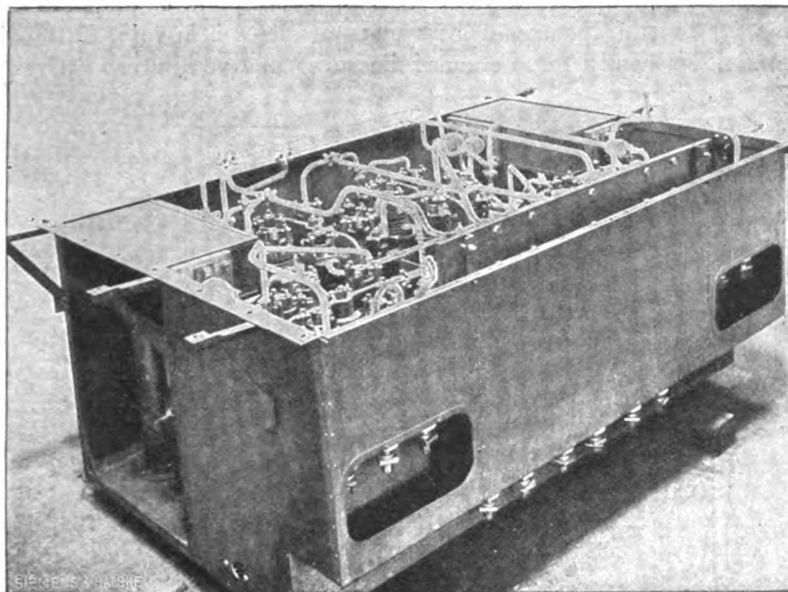



Fig. 23. — Boîte renfermant quatre interrupteurs et placée sous le plancher de la voiture.

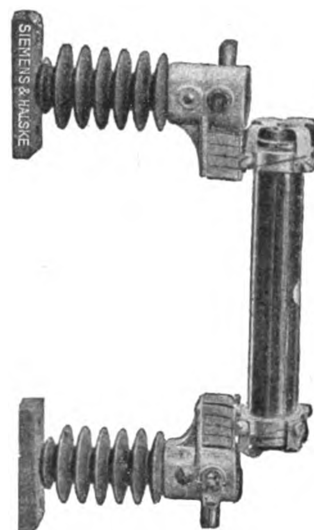



Fig. 24. — Coupe-circuit à tube pour 550 ampères.

Chaque unité électrique comprend ainsi 4 interrupteurs qui sont placés dans une même boîte, sous le plancher de la voiture (fig. 23) : l'isolant employé est l'ébonite, essayé sous 6 000 volts. Les

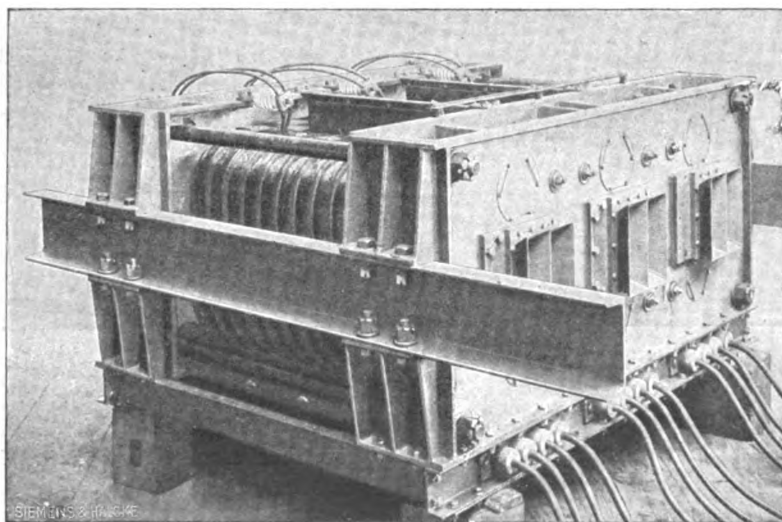



Fig. 25. — Transformateur à trois noyaux dans le même plan et parallèles à l'axe de la voiture ; on voit sur la droite de la figure les canaux de ventilation.

bornes d'attache des conducteurs sont extérieures à cette caisse, et facilement détachables, ainsi que les tuyaux en caoutchouc épais qui amènent l'air comprimé des tuyaux en fer de la voiture aux cylindres des appareils. La caisse, constituée par des tôles et des fers cornières, contient aussi

des coupe-circuits à tubes, calculés pour fondre à 550 ampères (fig. 24), et un petit transformateur de mesure, dont le secondaire est relié à un ampèremètre.

4° Transformateurs. — Ils sont du type à trois noyaux dans le même plan, et disposés sous le plancher de la voiture, couchés sur le côté, les axes des noyaux parallèles à la voie. Cette disposition permet d'y amener facilement les conducteurs et aussi d'assurer une ventilation active par

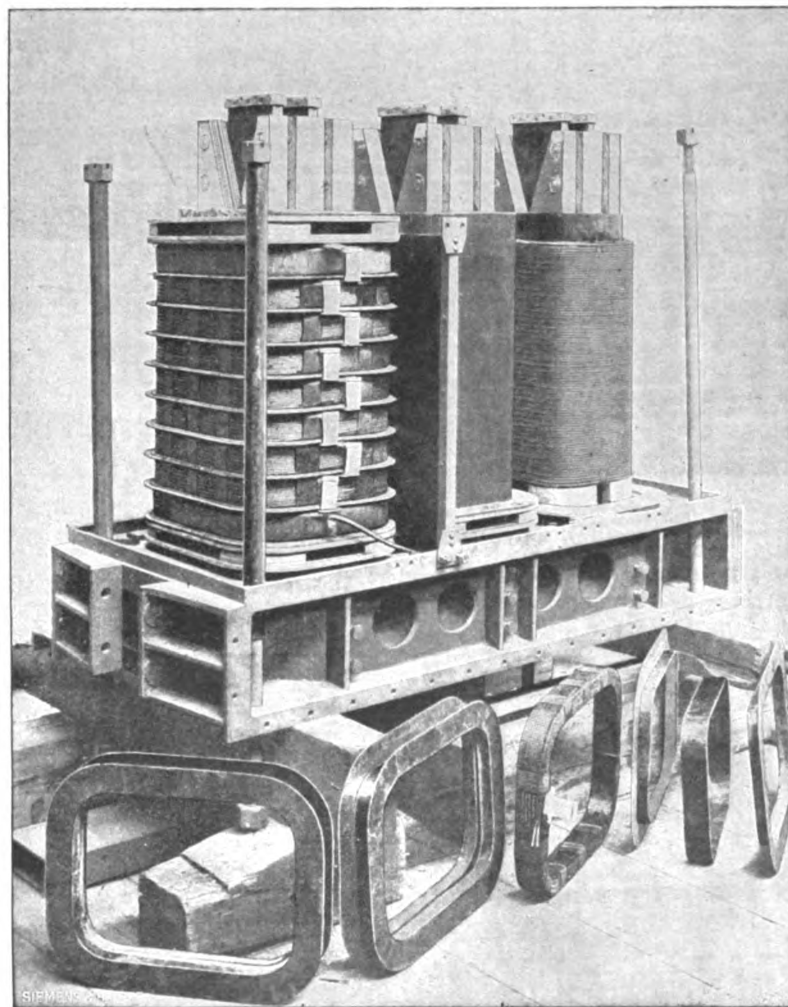



Fig. 26. — Détails de construction d'un transformateur.

des canaux obtenus en ménageant des espaces libres entre les paquets de tôles des noyaux. Les noyaux se composent de trois paquets de tôles placées de champ (fig. 25 à 30), entre lesquels sont ménagées des ouvertures de 205 × 30 mm, maintenues par des tubes placés entre les boulons qui réunissent ces paquets. Les culasses, qui terminent le circuit magnétique, sont formées chacune de deux paquets de tôles croisées avec celles des noyaux, placés au-dessous et au-dessus de l'axe des noyaux, laissant ainsi la place des canaux de ventilation, et de façon, d'ailleurs, à ne pas dépasser l'enroulement.

L'enroulement secondaire est constitué, pour chaque noyau, par un seul manchon isolé du fer à la micanite ; l'enroulement primaire à haute tension se compose d'un certain nombre de galettes reposant, par l'intermédiaire d'un manchon de micanite, sur le secondaire ; les enroulements de

deux noyaux voisins sont isolés par des cloisons (fig. 26). Le point neutre de l'enroulement primaire est à la terre; les extrémités de l'enroulement basse tension sont reliées aux interrupteurs de mise en triangle ou en étoile. Noyaux et culasses sont fortement serrés par 4 traverses entre des plaques formant le bâti; de plus, ces plaques portent deux solides fers à U qui servent à la suspension du bâti; elles sont ajourées en forme d'entonnoir à hauteur des canaux de ventilation.

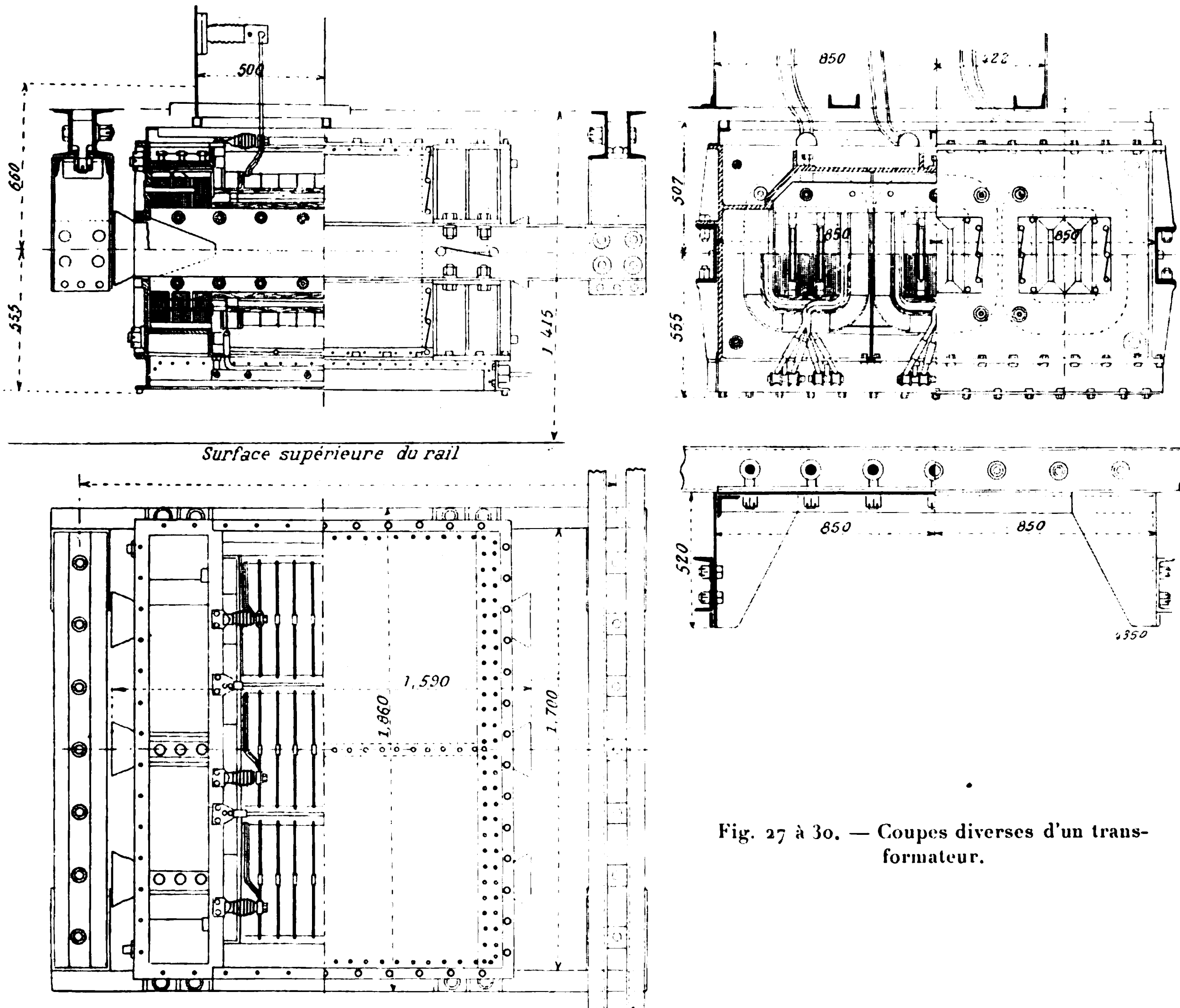



Fig. 27 à 30. — Coupes diverses d'un transformateur.

Le transformateur est fixé à la caisse de la voiture par 4 solides cornières boulonnées, et peut ainsi en être très facilement détaché.

5. Coupe-circuits a haute tension. — Les extrémités libres de l'enroulement primaire aboutissent à trois isolateurs en ébonite placés dans la cheminée verticale (fig. 31 à 33), et, de là, s'élèvent aux coupe-circuits principaux.

Ces coupe-circuits sont constitués, à peu près comme ceux de moyenne tension, par 4 tubes de pressspahn, contenant chacun un fil fusible et renfermés dans un tube de micanite. Ce tube est fixé en haut à un couvercle de métal portant 4 tubes recourbés vers le bas pour l'évacuation des gaz : le couvercle repose sur un isolateur spécial portant en même temps les conducteurs sur le toit, et l'interrupteur à haute tension avec coupe-circuits pour le petit transformateur. Cet isola-

Fig. 31 à 33. — Coupes diverses de la voiture faisant voir l'emplacement des coupe-circuits et interrupteurs à haute tension.

teur se compose d'un tube métallique entouré d'ébonite, portant à sa périphérie des cannelures circulaires transversales en forme de larmier (fig. 34). La partie inférieure du tube de micanite porte une bague de contact, dans laquelle vient s'enfoncer une couronne fendue formant ressort, fixée à un isolateur horizontal en ébonite, et portant une coquille destinée à retenir les particules de métal fondu.

Les coupe-circuits du petit transformateur sont analogues, mais plus petits.

6° Interrupteurs a haute tension. — Ces interrupteurs sont, comme ceux de moyenne tension, à double coupure et à soufflage de l'arc par tube réfrigérant. Ils se distinguent de ces derniers, en ce que les 6 contacts sont disposés sur une même ligne droite, au lieu d'être répartis sur un cercle : chaque interrupteur est placé avec le petit transformateur de la pompe à air, dans une caisse en tôle fixée à une ouverture du toit, et dont le couvercle supérieur porte 6 isolateurs. Le contact principal est constitué par un anneau dans lequel vient se presser un tube de cuivre, et le contact auxiliaire par trois segments d'anneau formant ressort dans lesquels s'enfonce un noyau pointu. Pour chaque phase, le tube et le noyau sont connectés ensemble ; les contacts correspondants des souffleurs sont fixés sur un pont en fer à U, en métal recouvert d'ébonite ; les trois ponts sont réunis sur un plateau, commandé par deux tiges verticales venant du cylindre à air comprimé, au moyen d'un dispositif à ressorts de rappel et déclic, comme pour les interrupteurs de moyenne tension ; la levée du plateau pour la fermeture, étant limitée par un ressort tampon, et l'ouverture provoquée par le ressort de rappel (fig. 35).

7° Prises de courant. — On a posé en principe, qu'étant donnée la grande vitesse de marche, il ne fallait pas son-

ger à rendre les prises de courant mobiles dans le sens de la hauteur, ce qui entraîne pour la voie la suppression des passages sous les routes, à moins d'employer pour ces passages des ponts d'une hauteur suffisante pour que la ligne aérienne conserve une hauteur invariable.

L'appareil de prise de courant est constitué par un mât vertical, comprenant deux longs tubes « Mannesmann », emmanchés l'un dans l'autre en forme de télescope, dont la partie inférieure repose sur une crapaudine fixée au plancher de la voiture, et tourne dans un collier intercalé dans le toit. Par manivelle et engrenages, on commande ce mât de la cabine, et on peut le fixer au moyen de coins de pression dans les positions définies.

A la partie supérieure, au-dessus du collier, se trouve une bride sur laquelle est vissé un tube d'ébonite cannelé transversalement, portant trois bagues de contact, sur lesquelles appuient des frotteurs à ressort, vissés à des isolateurs en ébonite. Le tube supérieur est fixé par quelques boulons au tube inférieur : il porte à deux distances de 1 m, 3 axes correspondant chacun à un archet. La pression de l'air sur l'archet étant considérable à ces grandes vitesses, on ne se contente pas d'y opposer des ressorts puissants, mais on la compense par une plaque placée de l'autre côté de l'axe (fig. 36). L'archet se compose de tubes d'acier, faciles à remplacer ainsi que leur support. De l'archet le courant est amené par les deux branches (isolées de l'axe par des isolateurs en ébonite cannelés) à une pièce de bronze fixée sur un isolateur à cloche placé sur l'axe de rotation, et de là par un ressort de contact fixé à un deuxième isolateur, au parafoudre, puis aux bagues par un câble isolé.

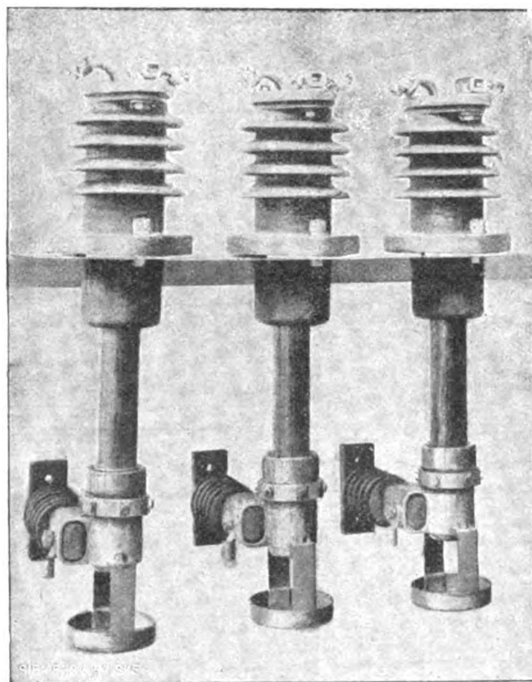


Fig. 34. — Coupe-circuits à haute tension.

On a disposé deux prises de courant par voiture à cause de l'intensité de courant relativement élevée (200 ampères) et aussi pour éviter la formation d'étincelles en tous les points où la ligne est coupée pour une raison quelconque (isolateurs de section, branchement, etc).

8° Production de l'air comprimé. — L'installation comprend 2 pompes à air, placées sous les cabines extrêmes, et commandées chacune par un moteur électrique, alimenté par un petit transformateur sous une tension de 110 volts.

Ces pompes, en une minute, font 190 tours et compriment 400 litres d'air, pris à la pression atmosphérique, à une pression de 8 atmosphères; elles sont à deux cylindres jumelés verticaux, dont les pistons sont commandés par une manivelle entraînée par une roue dentée, engrenant avec un pignon monté sur l'arbre du moteur; le tout est protégé contre la poussière et l'humidité. Le moteur est à secondaire en court-circuit (fig. 37 et 38). L'air comprimé est emmagasiné dans 4 réservoirs, dont 2 servent à la manœuvre des appareils et les 2 autres au frein.

9° Distribution de l'air comprimé; cabine du mécanicien. — La manœuvre des appareils se fait à air comprimé : le réservoir correspondant est logé sous le toit, et celui du frein dans l'angle antérieur gauche de la cabine : les pressions y sont respectivement 4,5 atmosphères et 8 atmosphères. Les appareils de manœuvre (fig. 39) sont rangés sur une table à l'avant de la cabine, formant couvercle d'une caisse qui contient les robinets à air, et les tuyaux de caoutchouc épais les reliant aux tuyaux en fer placés sous la voiture. Les robinets de réglage ont trois positions : 1° *position d'arrêt*, le cylindre communique avec l'air extérieur; 2° *position de travail*, le cylindre communique avec le réservoir et est séparé de l'air extérieur; 3° *position de rupture*, le cylindre est séparé du

réservoir et relié à l'air extérieur. Il y a un double robinet pour la marche avant ou arrière, et un pour la mise en étoile ou en triangle; un simple robinet pour les interrupteurs des moteurs et les démarreurs. Ce dernier est commandé par le volant; une aiguille se déplace devant un cercle

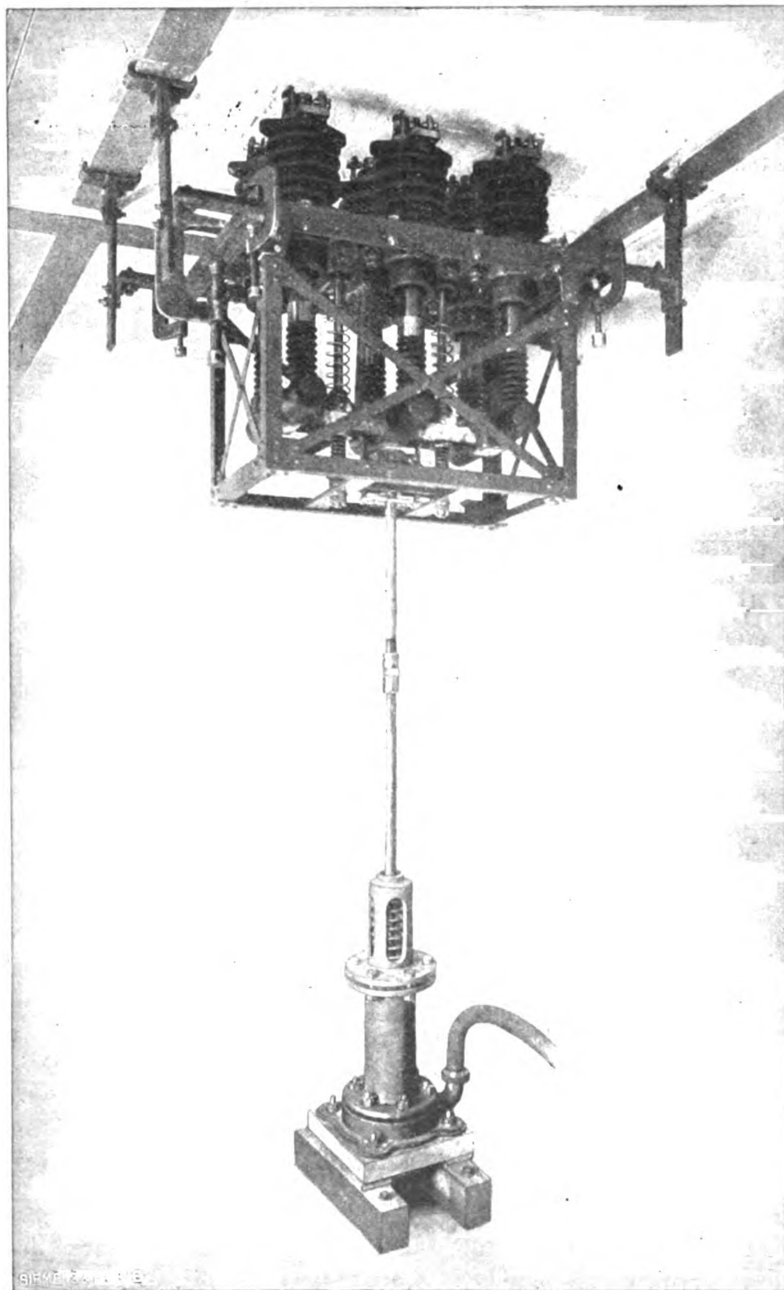


Fig. 35. — Interrupteur à haute tension.

divisé en 29 secteurs, et indique le plot correspondant des résistances. Au-dessus de la table, à hauteur des yeux se trouvent : 2 manomètres indiquant la pression de l'air dans les réservoirs; un voltmètre branché sur le transformateur de la pompe à air, mais gradué directement en volts

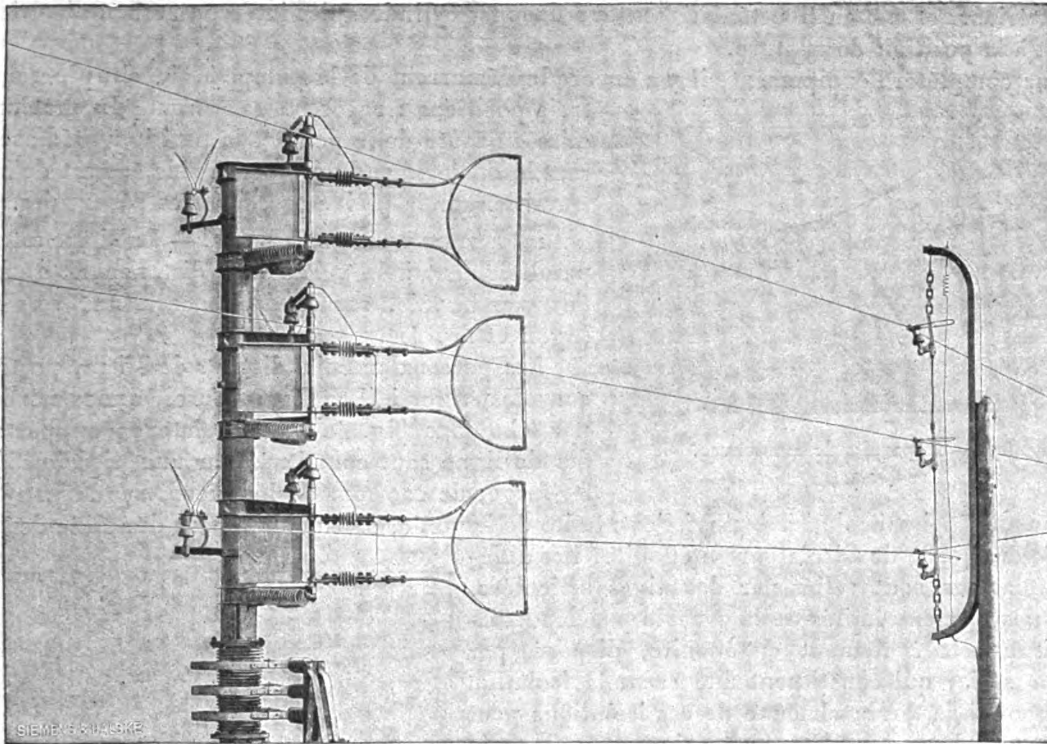



Fig. 36. — Prises de courant.

sur la ligne, un ampèremètre gradué en ampères par phase d'un des moteurs, un voltmètre branché sur une petite dynamo montée sur un des arbres médians des bogies, et gradué directement en km à l'heure. Dans l'angle antérieur droit se trouve le volant du frein à main ; sur la droite de la table le robinet du frein Westinghouse, et sur

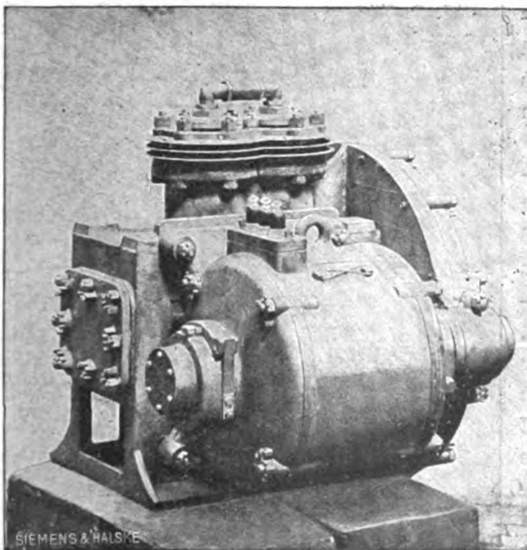



Fig. 37. — Moteur électrique commandant une pompe à air.

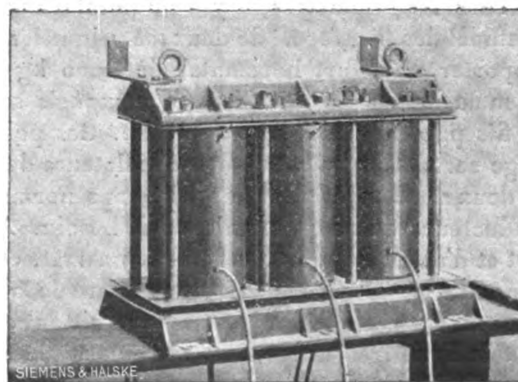



Fig. 38.

la gauche un robinet de sûreté à deux positions : dans la position de marche, il relie le réservoir aux robinets de réglage ; dans la position de secours, il isole le réservoir à air des appareils et de

l'air extérieur, et met en liberté l'air contenu dans les cylindres des interrupteurs, qui reviennent aussitôt à la position de rupture.

Pour compléter l'équipement, il y a encore le démarreur de la pompe à air, simple robinet à trois positions : repos, mise en route du moteur seul, mise en route de la pompe, la position médiane assurant le démarrage du moteur à vide, avant de le faire travailler sur la pleine pression des réservoirs.

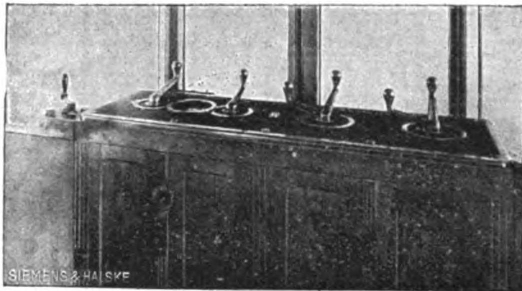



Fig. 39. — Appareils de manœuvre.

10° Installation de la ligne. — La ligne est placée parallèlement à la voie à une distance de 2,25 m de l'axe de la voie, sur la droite en allant vers Zossen (fig. 1 et fig. 41).

Les poteaux en bois, distants de 35 m, portent des consoles en fer à U en forme d'arcs, fixées aux poteaux par 3 boulons (fig. 40). Les isolateurs supportant les fils de ligne sont constitués par une tige conique en fer forgé, de 200 mm de longueur, recouverte d'ébonite sur une épaisseur de 5 à 6 mm, à l'extrémité de laquelle, sur une longueur dénudée de 50 mm, est fixée la cloche de l'isolateur en ébonite. Les différents isolateurs sont reliés par des tiges articulées, et réunies aux extrémités de la console par des isolateurs à boucle également en ébonite, disposés par trois en série, qui constituent une seconde isolation par rapport à la terre; chacune de ces isolations peut supporter seule 12000 volts. La tension entre fils varie de 10000 à 12000 volts.

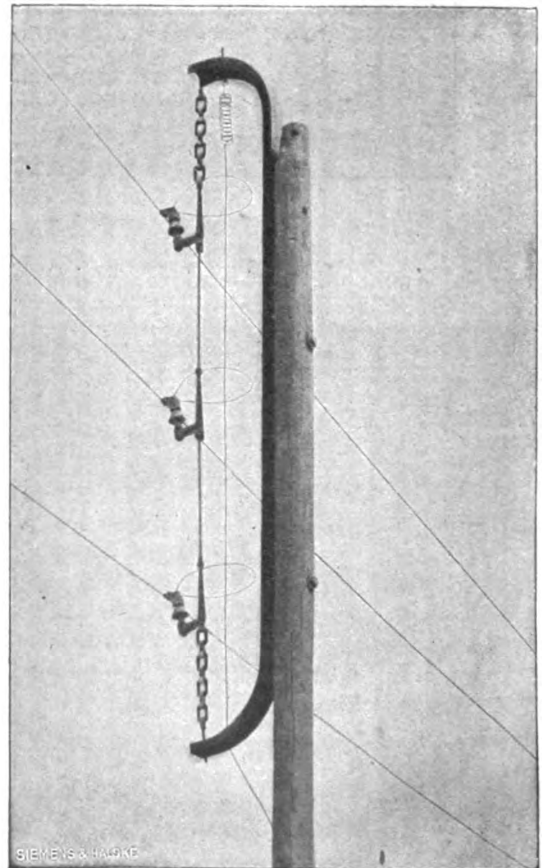



Fig. 40. — Type de poteau en bois avec console en fer en forme d'arc.

Les fils sont en cuivre dur profilé, présentant une charge de rupture de 38 kg : mm², et une conductibilité de 97 p. 100 du cuivre chimiquement pur : ils ont une section de 100 mm². Les 3 fils sont placés verticalement à des distances respectives de 1 m ; le point de suspension du fil le plus bas est à 5,50 m au-dessus de l'arête supérieure du rail ; la distance des fils au plan médian de la voie est 1450 mm.

Tous les kilomètres, il y a un point d'ancrage longitudinal des fils, formé de deux mâts jumelés, pouvant supporter un effort horizontal de 3000 kg appliqué à 6 m au-dessus du rail (fig. 42), auxquels sont reliés les fils par des isolateurs à boucle. Ces points d'ancrage servent en même temps d'isolateurs de sections, les deux sections étant reliées en temps normal par des conducteurs qu'on peut enlever si besoin. A 5 m de part et d'autre du point, est planté un mât, et le point d'ancrage est situé à 380 mm en arrière de la ligne des poteaux. De cette façon les archets quittent et reprennent la ligne très doucement sous un angle aigu, et il n'y a d'ailleurs pas coupure du courant, l'interruption ne durant que sur une longueur de 10 m, alors que la distance de deux prises de courant de la voiture est de 17,64 m.

Chaque conducteur comporte un parafoudre à cornes par section, fixé au poteau. A chaque isolateur est fixée par une pince à la chape qui maintient le fil, une boucle d'un fil de 8 mm de

diamètre, entourant un fil vertical tendu entre les deux extrémités de la console et relié au rail à chaque poteau, le tout disposé de telle sorte que si un fil vient à se rompre, l'effort qui en résulte

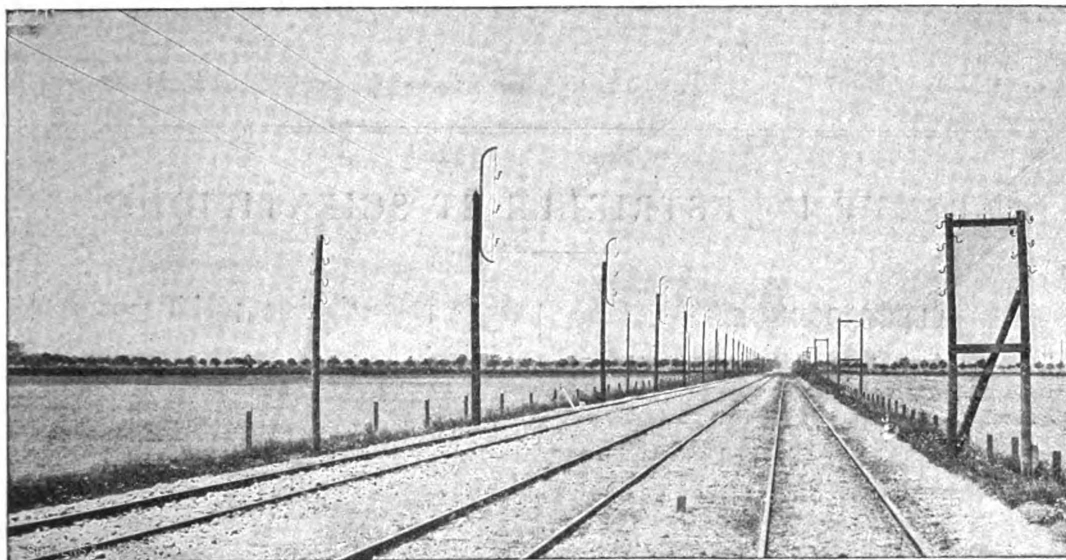


Fig. 41. — Vue de la ligne.

fait tourner la pince et en même temps applique la boucle contre le fil de terre. Ce fil de terre de 8 mm présente des spires tordues en ressort à boudin qui l'empêchent de se rompre sous le

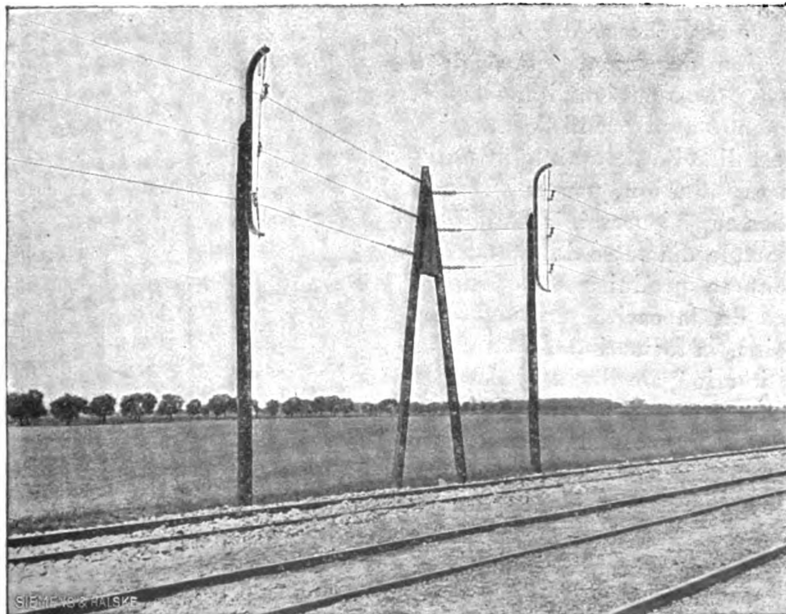



Fig. 42. — Portion de la ligne laissant voir un point d'ancrage longitudinal formé de deux mâts jumelés.

choc. Les rails sont connectés électriquement entre eux par des bandes de cuivre, et reliés aux points neutres des systèmes triphasés, et à la terre par des plaques disposées tous les kilomètres.

La ligne d'alimentation, entre Marienfeld et Ober-Schöneweide, est construite par l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft; elle comporte 4 fils dont un pour le point neutre, de 70 et 50 mm² de section, en fils nus sur isolateurs en porcelaine, la plupart du temps, et en câbles isolés, quand c'est nécessaire.

(*La fin au prochain numéro*).

A. MAUDUIT.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## ÉLECTROCHIMIE

***Expériences relatives à la fabrication de l'aluminium*** par **F. Haber** et **R. Geipert**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 1 et 26, 2 et 9 janv. 1902.

Les auteurs rappellent d'abord l'état actuel de la fabrication de l'aluminium, puis passent à la description de leurs expériences.

FOUR. — Le four employé par eux est représenté en figure 1. C'est simplement un bloc de charbon avec une excavation circulaire, dans laquelle descend une anode cylindrique en charbon. Les blocs de charbon employés étaient les plus pauvres en cendres et provenaient de la fabrique Albert Lessing, de Nuremberg.

Les dimensions de ces blocs sont données sur la figure 1. La section de l'anode est égale à 34,22 cm². Ces dimensions ont leur importance. En effet si, par exemple, on prend l'excavation trop profonde, il est difficile de maintenir longtemps le bain en exploitation, par suite de la tendance des parties supérieures à la solidification. Si, d'autre part, le diamètre de l'anode est trop grand, il peut se produire entre elle et les parois latérales de la cavité, un court-circuit ou tout au moins, la formation d'un arc qui donne une répartition inégale de la chaleur et trouble l'électrolyse.

Comme le montre la figure, l'arrivée du courant au bloc de charbon négatif se fait par une plaque de cuivre, sur laquelle ce bloc repose.

On a intercalé une plaque de grès entre le bloc de charbon et la plaque de fonte, malgré le poteau en bois, pour éviter des dérivations au cas où on saisirait à la fois la partie supérieure et la partie inférieure du support. La tête en fonte du support, possède une cavité remplie de mercure, dans laquelle on introduit le câble positif. La manivelle permet d'élever ou d'abaisser le porte-charbon positif sans rotation de celui-ci.

La source d'énergie utilisée ici était une

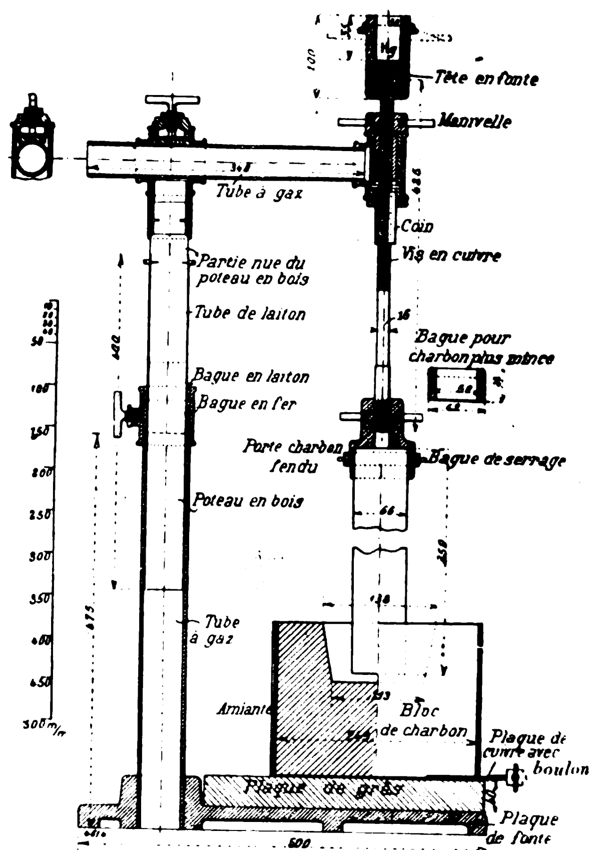



Fig. 1.

dynamo de 300 à 400 ampères sous 125 volts. Comme l'électrolyse n'utilise que 7 à 10 volts, on plaçait en tension avec le four, un rhéostat, ainsi qu'il est représenté en figure 2. Le rhéostat, très simple, était constitué par un tonneau rempli de solution étendue de soude, et dans

lequel le courant entrait par une électrode constituée par des bandes de fer et qui pouvait s'enfoncer plus ou moins, guidée par une tige en bois ; l'autre électrode, en communication avec le four, se composait d'une hélice en fer. Le réglage s'effectuait très bien ainsi et on maintenait facilement l'intensité de 300 à 400 ampères à 5 à 10 ampères près.

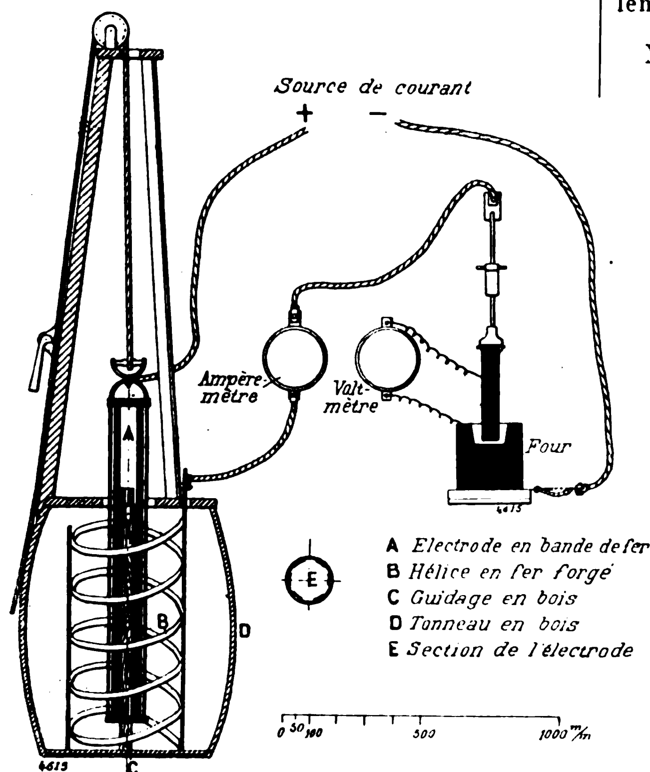



Fig. 2.

L'emploi d'une machine à tension si élevée donnait la possibilité de fondre rapidement la cryolithe par l'établissement d'un arc, au début.

Dans des premier essais effectués avec une batterie, on se servait d'une résistance en tubes de nickeline (fig. 3) de 0,25 mm d'épaisseur, et traversés par un courant d'eau pour le refroidissement. Des contacts glissants permettaient facilement le réglage de O à la résistance totale.

MATIÈRES. — Les deux substances utilisées ici

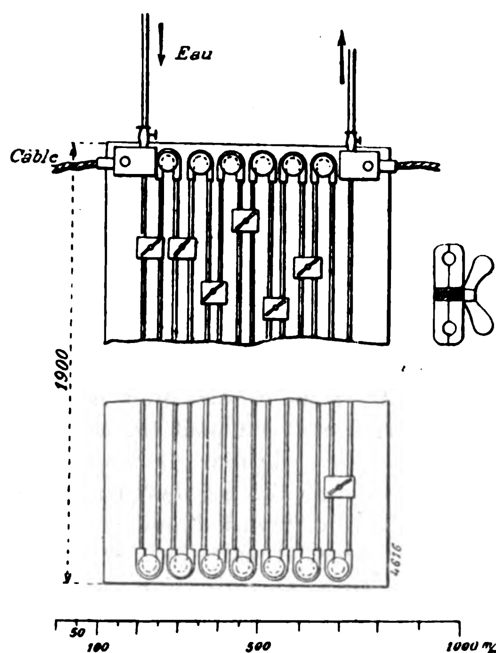



Fig. 3.

étaient l'alumine et une cryolithe artificielle, de compositions suivantes :

*Cryolithe artificielle.*

| | | |
|---|---|---|
| $SiO^2$ | 0,20 | 3,73 |
| $Fe^2O^3$ | 0,03 | |
| $H^2O$ | 3,50 | |
| $Al^2O^3$ | 31,50 | 96,3 $Al^2Fl^6$ |
| $Na^2O$ | 33,00 | 3,4 NaFl |

*Alumine.*

| | |
|---|---|
| $Al^2O^3$ | 99,0 p. 100. |
| $SiO^2$ | 0,18 » |
| $Fe^2O^3$ | 0,035 » |
| $Na^2O$ | 0,50 » |

Pour la comparaison, il était employé une cryolithe naturelle du Groënland ayant comme composition :

| | | |
|---|---|---|
| $SiO^2$ | 3,10 | |
| $Fe^2O^3$ | 0,23 | 4,08 p. 100 |
| $H^2O$ | 0,75 | |
| $Al^2O^3$ | 23,30 | 95,9 p. 100 $Al^2Fl^6$ |
| $Na^2O$ | 42,50 | 6 NaFl. |

La cryolithe artificielle est, comme on voit, plus riche en fluorure d'aluminium que la cryolithe naturelle. Les auteurs la trouvaient très supérieure à cette dernière qui produit un aluminium plus impur et plus riche en silicium et fer. De plus, l'opération est plus facile à conduire avec la cryolithe artificielle qui, plus riche en fluorure d'aluminium, est plus facilement fusible. Le seul inconvénient de la cryolithe arti-

ficielle est une plus grande perte de vapeurs à très haute température. Les auteurs vérifièrent ce fait en chauffant, dans les mêmes conditions, pendant 2 heures à très haute température deux échantillons des deux sortes de cryolithe. La perte constatée dans chaque cas était la suivante :

*Cryolithe artificielle.*

1,8555 gr perdaient 0,1065 gr
1,8560 » 0,1485 »

*Cryolithe naturelle.*

1,8560 gr perdaient 0,0660 gr
1,8564 » 0,0665 »

Pendant l'électrolyse, on doit par conséquent ajouter davantage de la première que de la seconde; mais les autres avantages de celle-là compensent largement cet inconvénient.

Les substances étaient employées ici à l'état de poudre fine ; à cet état, elles sont blanches ; l'alumine paraissant un peu plus blanche que la cryolithe, par suite de son caractère cristallin.

Essais préliminaires. — Ces essais, effectués par F. Russ, sous la direction de F. Haber, montrent comment on peut travailler dans de petites dimensions de four. Le creuset avait ici une excavation de 6,5 cm de profondeur et de 7 cm à son plus grand diamètre, la forme en était tronconique, la petite base se trouvant à la partie inférieure. On utilisait d'abord à l'anode un charbon de 1,5 cm de diamètre. La cryolithe artificielle était fondue par l'arc ; on ajoutait ensuite l'alumine puis on essayait d'électrolyser en plongeant moins l'anode. On obtenait alors un résultat négatif. En choisissant une anode de 3,5 cm de diamètre, on pouvait recueillir au fond un culot de 4 à 5 gr d'aluminium après une marche d'une heure; pendant la fusion, qui durait quelques minutes, le four absorbait 100 ampères sous 20 volts. L'électrolyse se faisait sous 6 à 10 volts, avec une intensité de 50 ampères, l'anode étant plongée profondément dans le bain. En outre du culot d'aluminium recueilli au fond, on constatait la présence de petits globules dispersés dans la masse ou attachés aux parois. Comme quantités de matière, on employait 170 gr de cryolithe artificielle et 30 gr d'alumine. Il n'y avait pas formation de carbure d'aluminium. Le métal obtenu se laissait tailler au couteau, mais n'était cependant pas suffisamment mou pour pouvoir être martelé à froid sans déchirures. Le poids spécifique du métal obtenu était inférieur à celui du bain comme l'indiquent les valeurs suivantes :

| Matières. | Poids spécifiques. |
|---|---|
| Alumine. . . . . . . . | 3,538 |
| Cryolithe artificielle . . | 2,6785 |
| Cryolithe naturelle . . . | 2,8154 |
| Aluminium . . . . . | 2,768 et 2,722 |
| Bain . . . . . . . . . | 3,037 et 3,116 |

Il convient de remarquer que ces valeurs ont été déterminées à froid. Or, comme Richards [1] l'a montré, le poids spécifique du bain devient plus petit, à haute température, que celui du métal ; c'est pour cette raison que celui ci se réunit au fond.

Avec la cryolithe naturelle, le bain était beaucoup plus chaud, la fusion s'obtenait plus difficilement; mais après une heure d'électrolyse il y avait solidification. On pouvait bien, il est vrai, rétablir l'arc pour faire entrer à nouveau le bain en fusion ; mais ce procédé amène des troubles dans l'électrolyse. L'emploi de four de petites dimensions ne permet pas, d'autre part, l'agitation nécessaire pour assurer l'homogénéité du bain.

Essais principaux. — Ces expériences étaient effectuées à l'aide du four de la figure 1.

*Premier essai.* — 1000 gr de cryolithe artificielle et 200 gr d'alumine étaient fondus par l'arc, en 10 minutes. L'anode était ensuite approchée à 0,5 à 1 cm du fond et l'électrolyse commençait avec 7 volts et 400 ampères. L'électrolyse durait 290 minutes ; elle était très régulière et la tension ne variait que dans les limites 7 à 10 volts. Pendant le cours de l'opération, on ajoutait encore 885 gr de cryolithe artificielle et 927 gr d'alumine, ce qui portait la quantité totale de la première à 1885 gr, et celle de la la seconde à 1127 gr. L'intensité moyenne atteignait 310 ampères, et la quantité totale d'électricité 55,1 F. Comme d'après la loi de Faraday 1 correspond à 9,03 gr d'aluminium, on devait donc pouvoir obtenir ici 497,5 gr Al. Or après refroidissement, on trouvait au fond du creuset un bloc de 230 gr de métal, et, en plus, 40 gr en petits globules disséminés dans la masse. Ces chiffres correspondaient à un rendement de 54,3 p. 100. La tension qui débutait à 7 volts, montait lentement et régulièrement à

[1] *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VI, p. 11.

10 volts, ce qui donnait une moyenne de 8,5 volts. Il en résultait une consommation de 63 chevaux-heure par kg d'aluminium. D'après les données ordinaires de la technique, on compte 40 à 45 chevaux-heure comme consommation. Les auteurs estiment, pour expliquer cette différence, que l'on peut électrolyser avec avec une différence de potentiel moyenne de 7,5 volts, et que, d'autre part, la quantité d'aluminium perdu par retransformation en alumine, était plus grande que normalement. D'après eux, pour maintenir la tension aussi faible que possible, il faut ajouter beaucoup d'alumine ; mais d'autre part, cette addition d'une substance de poids spécifique élevé diminue la différence des densités de l'aluminium et du bain et on court le risque de perdre des globules métalliques qui se dispersent dans le bain et redonnent de l'alumine.

La densité de courant au fond du creuset de section 100 cm² était de 3 ampères par cm² ; celle de l'anode, environ 3 fois supérieure. Ces valeurs s'accordent avec les données de Borchers et Milde. Comme on consomme un peu moins en diminuant la densité de courant, les valeurs faibles données ci-dessus pour la dépense d'énergie se comprennent dans ce cas..

*Deuxième essai.* — 1000 gr de cryolithe artificielle et 300 gr d'alumine étaient portés en fusion en dix minutes, par l'arc. L'électrolyse commençait ensuite avec 7 volts et 400 ampères et on ajoutait un peu de cryolithe et beaucoup d'alumine. L'électrode qui au début était située à 1 cm au-dessus du fond du creuset était relevée peu à peu pendant le cours de l'opération. Celle-ci était arrêtée après 315 minutes par suite de l'usure de l'anode. L'intensité se maintenait voisine de 400 ampères pendant les deux premières heures et de 300 ampères pendant les trois dernières ; la valeur moyenne atteignait 336 ampères, soit une densité de courant de 3,36 ampères par cm² à la cathode. La tension moyenne était de 9,3 volts ; elle montait de 7,5 à 9 volts pendant les deux premières heures et se maintenait à 10 volts pendant les trois dernières. Les quantités totales de matières employées étaient 2185 gr de cryolithe et 1254 gr d'alumine. Le lingot métallique, avec les petits globules disséminés, pesait 265 gr ; ce qui correspondait à un rendement de 44,84 pour 100.

*Troisième essai.* — On employait ici 1050 gr de cryolithe naturelle et 180 gr d'alumine. La fusion était plus difficile à obtenir que dans les cas précédents. L'électrolyse était aussi régulière ; mais après 120 minutes survenait un trouble particulier. Il devenait, en effet, impossible de continuer l'opération qui jusque-là s'était effectuée avec une tension de 8,5 volts et une intensité de 310 ampères. En essayant de descendre un peu l'électrode, il survenait toujours un court-circuit.

Pensant que ce fait pouvait provenir d'une trop grande addition d'alumine qui rendait le poids spécifique de la masse suffisamment élevé pour laisser flotter l'aluminium, les auteurs rajoutèrent 132 gr de cryolithe artificielle facilement fusible et continuèrent l'opération jusqu'à la 140ᵉ minute avec un courant de 130 à 140 ampères. Mais ce fut sans succès et la tendance au court-circuit existait toujours. Après refroidissement, le métal n'était pas rassemblé, comme dans les deux essais précédents, en couche unie dans le fond ; mais en un lingot en forme d'œuf, d'un poids de 105 gr. En ajoutant 5 gr d'aluminium en petits globules dans la masse, on trouvait pour le rendement la valeur 43,56 p. 100.

Propriétés du bain fluide. — Dans le premier essai on avait :

| | |
|---|---|
| Poids du bloc de charbon avant l'essai . . . | 20,65 kg |
| Poids du bloc de charbon après l'essai avec tout le bain liquide et le métal. . . . . . | 23,07 » |
| Poids-limite inférieur du contenu. . | 2,42 kg |

En retranchant de cette valeur, les suivantes :

| | |
|---|---|
| Alumine ajoutée après la fin de l'essai . . . | 0,058 kg |
| Métal. . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,270 » |
| Total. . . . . . . . . . . . . . | 0,328 kg |

on trouvait ainsi pour le poids limite inférieur du bain fluide

$$2,42 - 0,328 = 2,092 \text{ kg}.$$

La limite supérieure était donnée par le poids des matières introduites :

| | |
|---|---|
| Cryolithe . . . . . . . . . . | 1,885 kg |
| Alumine. . . . . . . . . . | 1,127 » |
| Total. . . . . . . . . | 3,012 kg |

duquel on retranchait 270 gr d'aluminium et 69,4 gr d'eau provenant de ces matières. Le

poids maximum du bain fluide devenait ainsi égal à 2,436 kg. La différence 341,6 gr entre les deux poids supérieur et inférieur représentait la perte par volatilisation et la perte en poids du creuset. Cette perte atteignait ici 11,4 p. 100 du poids de matières brutes.

Dans le troisième essai, une détermination comme la précédente montrait une perte inférieure à 5,4 p. 100, par suite de la plus faible volatilité de la cryolithe naturelle et de la plus faible durée de l'opération.

Dans les trois essais, on séparait la partie enveloppant le culot métallique et qui avait subi l'action électrolytique, et on la pulvérisait et la blutait. En présence de l'eau, cette substance donnait lieu à un petit dégagement de carbure d'hydrogène provenant sans doute de la formation d'un peu de carbure d'aluminium, dont on reconnaissait la présence aux minces bandes jaunes sur les parois du creuset. La densité de cette substance était égale à 3,16 à 18° C. pour les deux premiers essais.

La matière du premier essai était mise en digestion d'une demi-heure dans l'eau bouillante, et donnait ainsi une solution faiblement alcaline, dont le titre correspondait à 0,73 p. 100 $Na^2O$ dans la matière, à l'état d'aluminate $AlO^2Na$. L'attaque de la matière par l'acide sulfurique bouillant concentré permettait de déterminer la teneur en Na, atteignant 18,78 et 18,89 p. 100, soit une moyenne de 18,84 p. 100. La teneur moyenne en alumine était de 28,13 p. 100 Al, Pour le fluor, les auteurs trouvaient 34,95 p. 100. En résumé, la composition de la matière était devenue

*Valeurs trouvées.*

| | | |
|---|---|---|
| Na (comme sulfate) | 18,84 | p. 100. |
| Al | 28,13 | » |
| Fl | 34,95 | » |
| $Na^2O$ (d'après titrage) | 0,73 | » |

*Valeurs calculées.*

| | | |
|---|---|---|
| $AlO^2Na$ | 1,93 | p. 100. |
| $AlFl^3$ | 29,28 | » |
| $Al^2O^3$ | 33,96 | » |
| NaFl | 33,42 | » |
| Graphite | 1,41 | » |
| | 100,00 | |

La proportion de graphite ci-dessus indiquée est calculée; une vérification analytique dans laquelle on trouvait 1,63 p. 100 de carbone montrait un accord satisfaisant.

Comme il avait été employé 1127 gr d'alumine à 99 p. 100 $Al^2O^3$ et que les 270 gr d'aluminium produit correspondent à 509 gr $Al^2O^3$, il devait rester dans la masse 606 gr $A^2O^3$. Or d'après l'analyse précédente, on trouvait, en admettant une parfaite homogénéité, 710 à 827 gr d'alumine. On pouvait donc supposer soit, ce qui est certainement invraisemblable, qu'une notable quantité de fluor s'est dégagée à l'anode et qu'ainsi $Al^2Fl^6$ a servi d'électrolyte à côté de $Al^2O^3$, soit que l'électrolyte n'est pas capable de dissoudre toute l'alumine ajoutée, et qu'une partie de cette substance lourde est en suspension dans la partie inférieure du bain. Cette dernière hypothèse s'accorderait avec le fait que le poids spécifique 3,16 trouvé ici, était remarquablement plus élevé que celui (2,90 à 2,98) déterminé par Richards en pratique. A la vérité, Langley a trouvé que plus de 25 p. 100 d'alumine peuvent être dissous dans le bain; or rapportés à 2,4336 kg. et 2,092 kg, les 606 gr d'alumine représentaient ici 25 à 29 p. 100. Mais, outre que la solubilité du bain est très variable avec la température, on peut remarquer que, dans un bain qui n'est pas fortement agité, une substance lourde ajoutée dans la forme solide peut se trouver en petite quantité non dissoute à la partie inférieure quand la limite de saturation n'est pas encore atteinte.

En prenant comme poids total de la matière, la valeur moyenne 2,26 kg, la proportion 18,84 p. 100 Na correspondait à un poids total de 425 gr Na dans la masse. C'était sensiblement la même quantité (457 gr) qui correspondait aux 1885 gr de cryolithe artificielle.

Par contre, on constatait une perte par volatilisation en fluorure d'aluminium, la teneur en fluor et en aluminium total dans la masse étant plus petite que celle qui provenait de la cryolithe et de l'alumine ajoutées. Sans perte par volatilisation, on aurait dû trouver en effet :

| | | |
|---|---|---|
| $AlFl^3$ | 40,3 | p. 100. |
| NaFl | 34,2 | » |
| $Al^2O^3$ | 24,8 | » |

Par suite de la régularité de l'électrolyse, de la pureté du métal obtenu qui se séparait en couches cohérentes au fond, et par suite aussi du rendement toujours supérieur à 50 p. 100, on pouvait conclure que l'électrolyte utilisé représentait une bonne composition à employer.

En chiffres ronds, celle-ci s'exprimait par : 1/3 fluorure de sodium, 1/3 fluorure d'aluminium, 1/3 alumine.

Propriétés de l'aluminium. — L'aluminium obtenu dans les essais précédents était refondu au creuset de Rose, puis laminé. Les auteurs trouvaient que l'aluminium provenant de la cryolithe artificielle était facilement laminable, et qu'il n'en était pas ainsi de celui résultant de la cryolithe naturelle, et qui était trop cassant. Le métal obtenu dans les essais I et II était soumis, après laminage, aux essais de rupture qui donnaient les valeurs suivantes :

| LONGUEUR en cm. | ÉPAISSEUR en mm. | LARGEUR en mm. | CHARGE produisant la rupture en kg. | CHARGE de rupture en kg par mm². |
|---|---|---|---|---|
| | | 1er *Essai.* | | |
| 18 | 0,53 | 2,83 | 24,88 | 16,59 |
| 12 | 0,53 | 2,75 | 25,25 | 17,32 |
| | | 2e *Essai.* | | |
| 18 | 0,39 | 2,84 | 16,4 | 14,81 |
| 18 | 0,39 | 2,75 | 15,82 | 14,75 |
| 12 | 0,37 | 2,79 | 14,2 | 13,75 |
| 12 | 0,38 | 2,84 | 14,85 | 13,7 |

Le poids spécifique à 15° du métal du premier essai était 2,675 après refonte, et 2,70 avant; celui du métal du deuxième essai atteignait respectivement 2,674 et 2,714.

Les auteurs déterminèrent aussi les impuretés contenues dans le métal de l'essai n° 1. Il ne renfermait pas d'azote. Le fer était en quantité extrêmement petite et à peine décelable par les réactifs les plus sensibles. Il n'en était pas ainsi du métal de l'essai n° 3 qui était riche en fer provenant de la cryolithe naturelle. C'est ce qui explique que ce dernier métal était cassant et non laminable, et que sa texture était plus grossière et sa couleur plus foncée que celle du métal du premier essai. Dans ce dernier cas, la proportion de sodium était trouvée inférieure à 0,23 p. 1000. L'analyse du carbone indiquait une proportion de 0,05 p. 100 non pas à l'état de carbure mais comme impureté introduite mécaniquement pendant la préparation. Quant au silicium, il n'existait que dans la proportion de 0,034 p. 100.

Ces diverses qualités physiques et chimiques montraient que l'aluminium produit ici était très pur.

Conclusions. — Les auteurs conclurent de leurs essais que la préparation de l'aluminium pur en partant de cryolithe et d'alumine peut s'effectuer sous 7 à 10 volts avec une densité de courant cathodique de 3 ampères par cm² et en employant un creuset et une anode en charbon. Au point de vue des propriétés du métal, il est de la plus haute importance d'employer des substances pures. En choisissant convenablement les dimensions du bain et des électrodes, l'électrolyse se fait aussi régulièrement qu'une électrolyse de métal en solution aqueuse. Une teneur élevée en fluorure d'aluminium favorise l'électrolyse. Enfin les auteurs émettent l'opinion que les perfectionnements successifs apportés à la fabrication de l'aluminium pendant ces dix dernières années sont à attribuer exclusivement à l'utilisation de matières pures et d'anodes exemptes de cendres. L. J.

## MESURES

***Nouvel appareil pour la détermination de la perméabilité du fer et de l'acier,*** par **Lamb** et **Walker**. *Elektrotechnische Zeitschrift,* t. XXII, p. 967, 21 novembre 1901.

Le principe de l'appareil consiste à comparer la réluctance d'une éprouvette de fer ou d'acier à la réluctance d'un entrefer de section constante et de longueur variable; la précision de la mesure ne dépendant que de la précision avec laquelle on pourra évaluer la longueur variable et l'induction magnétique de l'entrefer.

L'appareil est très clairement représenté par la figure 1 : l'échantillon à essayer est constitué par une barre cylindrique tournée d'un diamètre de 9,5 mm et d'une longueur de 175 mm. Il y a deux bobines, l'une E enroulée autour de l'entrefer, l'autre F autour de l'échantillon : l'entrefer est réglable au moyen d'une vis micrométrique portant un limbe gradué se déplaçant devant une échelle également graduée : le cylindre de fer C a un diamètre de 50,8 mm et une longueur de 89 mm. Les deux bobines sont connectées en série de façon à agir dans le même sens sur le circuit magnétique : dans ces conditions, si on suppose d'abord que les deux bobines, parcourues par le même courant, comportent le même nombre de spires, et que la

réluctance de l'entrefer soit égale à celle de l'éprouvette, toutes les lignes de force du fer passeront dans l'entrefer ou inversement, et la surface extérieure de la tête B ne présentera aucune polarité; si au contraire une des réluctances est supérieure à l'autre, des lignes de force se fermeront par l'air et on constatera sur B une polarité positive ou négative suivant les cas : pour cette constatation, on emploie un petit barreau aimanté posé sur une agathe et

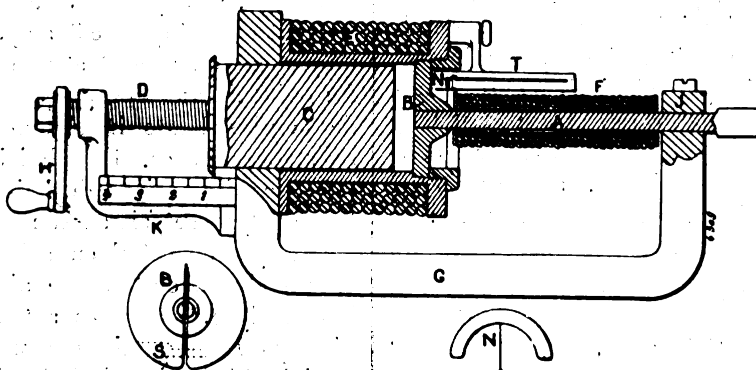


Fig. 1.

portant une aiguille d'aluminium, le tout enfermé dans un tube de laiton portant deux fenêtres, fermées par des lames de mica, ce qui soustrait l'équipage aux courants d'air.

Dans le cas où les nombres des spires $T_1$ et $T_2$ sur l'entrefer et sur l'éprouvette sont différents, la polarité disparaît pour des réluctances $\rho_1$ et $\rho_2$ telles que

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

si l'on néglige la réluctance des autres parties du circuit magnétique. On peut donc compenser la réluctance à mesurer par des entrefers différents, ce qui est très utile pour les très faibles et les très fortes inductions.

L'essai d'une éprouvette préalablement tournée, se fait de la façon suivante :

On la place dans la bobine F et on l'assujettit en B; on installe ensuite B dans la bobine E et on le fixe au moyen d'un anneau. On connecte ensuite les bobines, et on les monte en série avec un inverseur de courant, un ampèremètre, un rhéostat et une batterie d'accumulateurs : on peut aussi employer le montage de la figure 2, dans lequel on ferme le courant de la batterie sur l'ensemble de deux rhéostats de 1 et 10 ohms, en branchant l'appareil et son circuit sur les manettes des deux rhéostats, qui shuntent ainsi la batterie : ce dernier mode de montage dépense plus de courant, mais donne un réglage plus précis. On emploie un ampèremètre de précision de 1,5 ampère.

Pour désaimanter complètement la barre d'essai, on provoque d'abord un champ considérable $\mathcal{H} = 50$ par exemple, puis on ramène

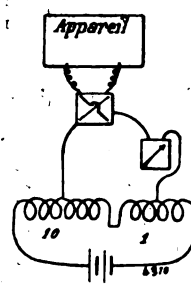


Fig. 2.

peu à peu à o, en renversant le courant à chaque variation.

On adopte alors une valeur du champ $\mathcal{H} = 5$, par exemple (les $\mathcal{H}$ étant sensiblement proportionnels aux courants, si on néglige la réluctance du reste du circuit magnétique, l'ampèremètre peut porter une graduation approximative en $\mathcal{H}$) et on règle la longueur de l'entrefer, jusqu'à ce que, par inversion du courant, il ne se produise aucun déplacement dans l'équilibre du barreau aimanté. On fait plusieurs essais, et à chaque essai, sans calcul, on déduit de tables spéciales la valeur de $\mu$ ou de $\frac{1}{\mu}$, perméabilité ou son inverse.

Il faut avoir soin de faire une lecture pour chaque sens de courant, et prendre la moyenne, de façon à rendre négligeable l'action de l'hystérésis de la culasse.

Les tableaux 1 et 2, représentent les résultats de l'étude respective de fer de Lowmoor et d'acier doux : dans le premier on a eu soin après chaque essai de ramener l'aiguille aimantée au zéro ; dans le second, on a apporté beaucoup moins d'attention à cette manœuvre, et les résultats sont encore très bons.

Tableau I. — *Fer de Lowmoor.*

| Intensité du courant magnétisant en A. | $\mathcal{H}$ | $\mathcal{B}$ | $\frac{1}{\mu} 10^3$ | Longueurs de l'entrefer en mm — Lectures dans les deux directions. | | Moyenne. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,03 | 1,42 | 1 180 | 1,20 | 5,18 | 5,21 | 5,195 |
| 0,04 | 1,88 | 2 100 | 0,89 | 3,28 | 3,53 | 3,405 |
| 0,05 | 2,32 | 3 400 | 0,68 | 2,46 | 2,62 | 2,54 |
| 0,06 | 2,78 | 4 500 | 0,62 | 2,26 | 2,31 | 2,285 |
| 0,08 | 3,68 | 6 450 | 0,57 | 2,005 | 2,11 | 2,055 |
| 0,10 | 4,58 | 7 950 | 0,58 | 2,03 | 2,08 | 2,055 |
| 0,15 | 6,95 | 10 550 | 0,66 | 2,49 | 2,565 | 2,53 |
| 0,20 | 9,35 | 12 000 | 0,78 | 3,12 | 3,12 | 3,12 |
| 0,30 | 14,30 | 13 750 | 1,04 | 4,65 | 4,7 | 4,675 |
| 0,40 | 19,20 | 14 620 | 1,31 | 5,85 | 5,97 | 5,91 |
| 0,50 | 24,20 | 15 210 | 1,60 | 7,62 | 7,62 | 7,62 |
| 0,60 | 29,50 | 15 600 | 1,90 | 9,22 | 9,22 | 9,22 |
| 0,80 | 39,20 | 16 050 | 2,45 | 12,7 | 12,7 | 12,7 |
| 1 | 49,20 | 16 350 | 3,03 | 16,3 | 16,3 | 16,3 |
| 1,10 | 55 | 16 600 | 3,33 | 18 | 18,3 | 18,15 |
| 1,15 | 56,50 | 16 660 | 3,38 | 19,05 | 19,05 | 19,05 |
| 1,20 | 59,20 | 16 700 | 3,55 | 19,8 | 20,1 | 19,95 |
| 1,30 | 64,20 | 16 800 | 3,84 | 21,6 | 22 | 21,8 |
| 1,40 | 69,10 | 16 950 | 4,10 | 23,7 | 24 | 23,85 |

Tableau II. — *Acier doux.*

| Intensité du courant magnétisant en A. | $\mathcal{H}$ | $\mathcal{B}$ | $\frac{1}{\mu} 10^3$ | Longueurs de l'entrefer en mm — Lectures dans les deux directions. | | Moyenne. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,04 | 1,97 | 388 | 5,08 | 27,02 | 28,43 | 27,73 |
| 0,06 | 2,95 | 738 | 4 | 19,45 | 23,2 | 21,33 |
| 0,08 | 3,92 | 1 340 | 2,93 | 14,62 | 15,65 | 15,14 |
| 0,10 | 4,86 | 2 235 | 2,17 | 9,77 | 10,8 | 10,29 |
| 0,15 | 7,17 | 5 280 | 1,36 | 6,22 | 6,22 | 6,22 |
| 0,20 | 9,50 | 7 550 | 1,26 | 5,78 | 5,76 | 5,77 |
| 0,30 | 14,3 | 10 550 | 1,35 | 6,425 | 6,25 | 6,34 |
| 0,40 | 19,30 | 12 310 | 1,56 | 7,82 | 7,42 | 7,52 |
| 0,60 | 29,10 | 14 120 | 2,03 | 10,67 | 10,45 | 10,56 |
| 0,80 | 39,10 | 15 020 | 2,60 | 14 | 13,90 | 13,95 |
| 1 | 49,10 | 15 650 | 3,14 | 17,57 | 17,4 | 17,49 |
| 1,20 | 59,10 | 16 000 | 3,70 | 21,2 | 21,02 | 21,11 |
| 1,40 | 69,10 | 16 350 | 4,23 | 25 | 24,9 | 24,95 |
| 1,60 | 79,10 | 16 600 | 4,77 | 28,8 | 28,75 | 28,78 |
| 1,80 | 89 | 16 900 | 5,27 | 33,2 | 33,03 | 33,12 |
| 2 | 99 | 17 100 | 5,77 | 38,5 | 38,2 | 38,35 |

La figure 3 montre la concordance entre les valeurs de $\frac{1}{\mu}$ et les lectures, pour trois sortes de métaux : fer de Lowmoor, acier doux et acier dur.

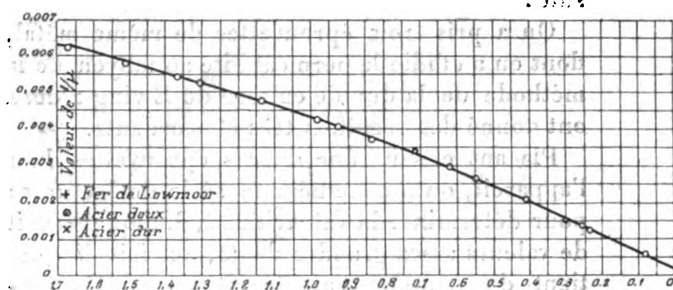



Fig. 3.

On pourrait graduer directement la tête de la vis et la règle en valeurs de $\frac{1}{\mu}$, mais les lectures seraient rendues plus difficiles ; il vaut mieux les graduer en mm, et déduire $\frac{1}{\mu}$ ou $\mu$ de courbes telles que les courbes de la figure 3 et de la figure 4.

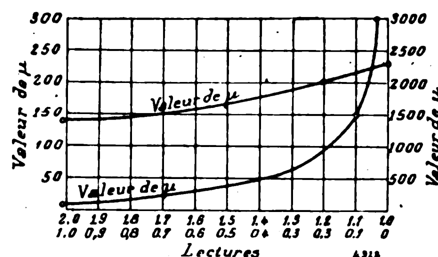



Fig. 4.

L'erreur introduite par la réluctance de la culasse et des joints est d'autant plus faible que l'induction est plus grande et varie avec la nature du métal de l'échantillon. Ainsi pour une induction de 15 900 dans un échantillon de fer Lowmoor, il faut 9 ampères-tours pour vaincre cette réluctance supplémentaire, sur un nombre total d'ampères-tours de l'éprouvette d'essai de 298, soit une erreur de 3 p. 100 ; pour une éprouvette d'acier doux, le nombre des ampères-tours est 350, soit une erreur de 2,85 p. 100 ; si

on gradue empiriquement l'ampèremètre, d'après le premier fer, on aura pour le second métal une erreur de 0,15 p. 100. L'erreur est plus grande pour les faibles inductions, mais cela n'a guère d'importance pratique, car pour ces valeurs de l'induction, les diverses éprouvettes d'essai tirées d'un même morceau de métal donnent des résultats souvent différents, suivant les conditions de la fabrication.

Pour étalonner l'appareil, on a procédé comme suit :

On a pris trois éprouvettes de même métal, dont on a étudié la perméabilité au moyen de la méthode de la double culasse de Ewing : deux ont donné des résultats très concordants.

Plaçant ensuite une de ces éprouvettes dans l'appareil, on a effectué une série de lectures ; pour déterminer la valeur de $\mathcal{H}$, lorsqu'il s'agit de valeurs assez grandes de $\mathfrak{B}$, on fait le quotient du nombre d'ampères-tours par la longueur active de l'éprouvette ; dans les faibles valeurs de $\mathfrak{B}$, on mesure $\mathfrak{B}$ par le moyen de la force électromotrice induite dans une bobine sans fer ; de la loi connue entre $\mathfrak{B}$ et $\mathcal{H}$ [1]. On peut ainsi graduer empiriquement l'ampèremètre en valeurs de $\mathcal{H}$, et construire une courbe des valeurs de $\frac{1}{\mu}$ en fonction des lectures, et l'appareil est prêt à servir pour une éprouvette quelconque : la figure 3 montre que la courbe tracée pour un métal quelconque, par exemple fer de Lowmoor, s'applique très bien à l'acier doux et à l'acier dur.

A. M.

***Sur la mesure de la différence de phase***, par **Breslauer.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 172, 23 janvier 1902.

Dans la séance du 18 décembre 1901 de l'Association électrotechnique de Vienne, M. l'ingénieur-directeur Breslauer a fait une communication relative à une méthode permettant de mesurer de très grands décalages de phase, en partant de ce principe que, pour une valeur de $\cos\varphi \leqq 0,1$, les méthodes utilisées jusqu'ici, et fondées sur des mesures au wattmètre, ne conviennent pas et que le wattmètre semble tout à fait impropre à cet usage. La méthode appliquée par M. le directeur Breslauer repose sur l'emploi d'un voltmètre différentiel, qui se distingue d'un voltmètre à fer doux ordinaire en ce que la bobine magnétisante est munie de deux enroulements en opposition.

Si l'on monte une résistance non inductive $r$ en avant de l'appareil dans lequel on veut mesurer le décalage de phase, le voltmètre différentiel permettra de mesurer soit la somme géométrique, soit la différence géométrique des tensions respectivement absorbées dans la résistance et dans l'appareil lui-même.

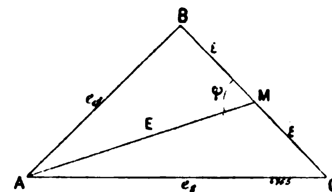



Fig. 1.

Le diagramme correspondant est figuré par un triangle dans lequel $e_s$, $e_d$ et $2\varepsilon$ représentent respectivement les trois côtés AC, AB et BC, et E la médiane AM, inclinée d'un angle $\varphi$ sur le côté $2\varepsilon$.

Désignons par E la différence de potentiel aux bornes de l'appareil, $r$ la valeur de la résistance non inductive, $i$ l'intensité du courant qui traverse cette résistance, on a : $\varepsilon = ri$.

Dans les triangles AMC et AMB, on a respectivement :

$$e_s^2 = E^2 + \varepsilon^2 + 2E\varepsilon\cos\varphi$$
$$e_d^2 = E^2 + \varepsilon^2 + 2E\varepsilon\cos\varphi$$

Retranchons membre à membre ces deux égalités

$$e_s^2 = e_d^2 = 4E\varepsilon\cos\varphi = 4rEi\cos\varphi = 4rL$$

d'où

$$L = \frac{e_s^2 - e_d^2}{4r}.$$

Cette expression montre qu'il est possible de calculer la valeur du travail en mesurant les tensions $e_s$ et $e_d$.

Il va de soi qu'on peut supprimer la résistance montée en avant du voltmètre et remplacer une des deux bobines du voltmètre différentiel par un enroulement traversé par le courant prin-

(1) Pour ces faibles valeurs de $\mathfrak{B}$, l'erreur due à la réluctance des joints et de la culasse serait trop considérable, si on appliquait la première méthode.

cipal; on obtient ainsi un instrument parfaitement approprié à la mesure du travail et qui présente le seul inconvénient de nécessiter deux mesures.

D'après les recherches de M. Redner, cette méthode permettrait de mesurer des décalages de phase correspondant à des valeurs de cos $\varphi \leq 0,07$, et cela avec la plus grande commodité et une exactitude suffisante, à condition d'employer une échelle spéciale sur l'appareil.

***Sur un nouvel indicateur de phase***, par **E. P. Woodbury**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 15, 2 janvier 1902.

L'emploi d'un voltmètre et de lampes à incandescence pour indiquer la concordance de phase lors du couplage en parallèle d'alternateurs, constitue un procédé simple et commode lorsqu'il s'agit d'unités de faible puissance. Pour de grandes unités, au contraire, de légères différences de phase ont déjà beaucoup d'importance, et comme la méthode rappelée ci-dessus ne

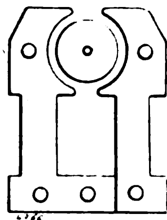


Fig. 1.

permet plus de reconnaître avec certitude de petits écarts, on a éprouvé de la difficulté de construire des appareils donnant des indications suffisamment exactes. Dans la grande station centrale d'énergie des chutes du Niagara, les pièces de contact des interrupteurs brûlaient souvent, par suite de ces petites différences de phase. M. P. M. Lincoln, chef d'exploitation de cette station, est parvenu pourtant à construire un instrument convenable, relativement simple, qui permet de déterminer rapidement et avec certitude de faibles différences de phase.

La forme extérieure de l'appareil rappelle celle d'un petit ventilateur électrique. Le moteur porte un disque vertical fixe sur lequel circule un index porté par l'arbre. La forme du système inducteur et celle de l'induit est indiquée par la figure 1. Le noyau est bipolaire et constitué par des feuilles de tôle assemblées; son enroulement est approprié à la tension d'utilisation dont on dispose. Le rotor est constitué par une armature en fer du type ordinaire, portant deux bobines A et B décalées de 90° l'une par rapport à l'autre et couplées en série (fig. 2).

Sur l'axe du moteur, reposant sur des paliers

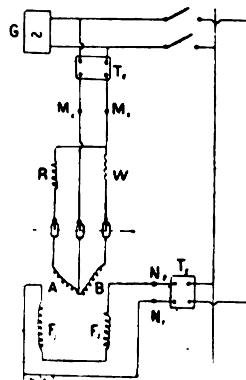



Fig. 2.

à billes, sont fixées trois bagues : deux de ces bagues sont reliées aux extrémités libres de l'enroulement induit, la troisième communique avec le point de jonction des deux bobines A et B. L'amenée du courant au moteur se fait au moyen de trois balais frottant sur les bagues. La figure 2 donne le schéma des connexions : $F_1$ et $F_2$ sont les bobines montées sur les noyaux inducteurs, A et B les deux bobines de l'induit. Les bornes $M_1$ et $M_2$ du circuit induit sont reliées à un petit transformateur réducteur $T_2$ dont le circuit primaire communique avec les bornes de l'alternateur G qu'il s'agit de coupler sur le réseau. Les bornes $N_1$, $N_2$ du système inducteur sont de même reliées à un petit transformateur réducteur $T_1$ alimenté par les rails omnibus de la station. Les extrémités libres de l'enroulement induit sont fermées sur une résistance inductive R et sur une résistance non inductive W; la borne $M_1$ se trouve au point de jonction des deux résistances. La résistance inductive R est constituée par une bobine enroulée sur un noyau de fer, et elle est disposée dans le pied de l'appareil. La résistance non inductive W est formée d'une lampe à incandescence qui sert en même temps pour l'éclairage du disque dont on a parlé plus haut.

En modifiant l'entrefer dans le noyau, on peut

donner à la résistance R une valeur telle que les courants dans l'induit et dans le système inducteur soient décalés de 90° l'un par rapport à l'autre.

Si les courants dans l'enroulement inducteur sont en concordance de phase avec le courant dans la bobine A de l'induit, l'induit tournera de manière à ce que le plan de la bobine A vienne se placer perpendiculairement au champ du stator (champ inducteur). Dans cette position, il n'y a pas de couple entre la bobine B et le champ du stator, puisque le courant dans B est décalé de 90° sur le courant dans F. Dans ce cas, qui est précisément celui du synchronisme entre les deux alternateurs, l'index mobile sur le disque se dresse verticalement vers le haut et se superpose à une flèche tracée sur l'échelle graduée.

Lorsque le courant dans la bobine B est en concordance de phase avec les courants dans F, le plan de la bobine B se place perpendiculairement au champ du stator et l'index prend une position horizontale. Suivant que l'alternateur à coupler avec celui qui fonctionne déjà est en avance ou en retard de phase sur le courant du réseau, l'index se déplacera vers la droite ou vers la gauche. Si le sens de phase est juste inverse, le plan de la bobine A se placera encore perpendiculairement au champ du stator, mais dans une position faisant un angle de 180° avec la première ; l'index se place alors verticalement, mais il est dirigé vers le bas.

Tous les autres cas possibles correspondent aux positions intermédiaires de la bobine, et par suite de l'index.

Les considérations que l'on vient d'exposer supposent que les deux alternateurs à coupler ont des vitesses rigoureusement identiques. Toutefois, l'appareil décrit ci-dessus peut aussi servir à reconnaître des différences dans les vitesses des deux alternateurs. Si, en effet, ces machines ont des vitesses angulaires différentes, l'index ne s'arrête dans aucune position, mais il tourne avec une vitesse qui correspond à la différence des vitesses angulaires des deux alternateurs. Suivant que la machine à coupler tourne plus vite ou plus lentement que celle qui alimente déjà le réseau, la rotation de l'index se produit dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, ou en sens inverse. Ce n'est que lorsque les vitesses des deux alternateurs deviennent rigoureusement égales que l'index se fixe dans une position invariable, dépendant des conditions de phase des alternateurs, comme on l'a expliqué plus haut. Pour coupler le nouvel alternateur sur le réseau, il y a donc lieu d'attendre que l'index soit dirigé verticalement vers le haut.

***Un nouvel instrument pour la mesure des fréquences***, par **R. Manzetti.** *L'Elettricista*, 1er mai 1901, t. X, p. 97.

Un disque de cuivre et un petit parallélipipède de fer sont fixés sur une tige d'aluminium et placés chacun dans un champ alternatif indépendant. Les plans du disque et du rectangle font avec la direction commune des deux champs des angles déterminés. Les champs alternatifs, dont l'intensité est supposée réglable et due à des courants alternatifs, produisent sur l'équipage, d'une part, par courants de Foucault dans le cuivre, d'autre part, par simple magnétisme sur le fer, des moments de torsion dont la résultante peut être annulée par le réglage des champs, et le moment dû aux courants de Foucault dépend seul de la fréquence.

Dans l'appareil, les deux circuits produisant les champs alternatifs sont en dérivation, et l'on trouve, en négligeant l'induction mutuelle des circuits et en tenant compte des courants de Foucault, dans la lamelle de fer, que, lorsque l'équilibre est réalisé par le réglage des résistances $r_1$, $r_2$ des deux circuits, le rapport de ces résistances est représenté, en fonction de la fréquence, par la formule.

$$\frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{a + b\,\omega^2 + c\,\omega^4}{\omega^2 + d\,\omega^4}$$

Le champ qui produit les courants de Foucault est obtenu par deux bobines placées sur un même axe horizontal, et fixées à la partie supérieure de l'appareil, le disque de cuivre a 28 mm de diamètre et 5 mm d'épaisseur. Le parallélipipède de fer est constitué par 10 lamelles de fer de 0,1 mm d'épaisseur isolées entre elles au papier et à la gomme laque. L'équipage est suspendu à un fil de quartz, et son mouvement amorti par une lamelle de mica.

L'appareil est étalonné au moyen d'un petit alternateur et d'un tachymètre pour des fréquences variant de 70 à 250 périodes ; l'auteur a calculé les constantes $a$, $b$, $c$, $d$ de la formule

précitée et cite des résultats montrant l'exactitude très suffisante de cette formule.

P.-L.-C.

***Une interprétation mécanique de la conduction électrique***, par **Ferdinando Lori**. *L'Elettricista* du 1er décembre 1901, t. X, p. 273.

Si $n$ est le nombre d'ions renfermés dans l'unité de volume d'un électrolyte homogène, $m$ et $\mu$, leurs masses matérielle et électrique, $x$ la distance de chaque ion à un plan normal à leur direction commune, $\frac{dx}{dt}$ et $\frac{d^2x}{dt^2}$ la vitesse et l'accélération, le nombre des ions qui passent dans l'unité de temps à travers l'unité de superficie d'une section normale au mouvement est $n\frac{dx}{dt}$ et la quantité d'électricité transportée, $n\mu\frac{dx}{dt}$, et en supposant tous les ions de même signe, transportés dans le même sens, et ceux de signe contraire en sens inverse, la quantité totale transportée dans l'unité de temps et par unité de superficie, est

$$q = n\mu\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx'}{dt}\right)$$

Si X est l'intensité du champ électrique, supposé uniforme et parallèle au mouvement, chaque ion est soumis à une force $\mu X$, et en outre, à une force due au frottement, proportionnelle à la vitesse et fonction d'une dimension $\rho$ principale d'ions, on a donc

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = \mu X - \varepsilon . f(\rho) . \frac{dx}{dt}$$

En combinant deux équations de ce genre, pour les ions de chaque signe, on obtient

$$(1) \quad mm'\left(\frac{d^2x}{dt^2} - \frac{d^2x'}{dt^2}\right) = \mu(m+m')X - \varepsilon \left[m' . f(\rho)\frac{dx}{dt} - m f(\rho')\frac{dx'}{dt}\right]$$

En appliquant au phénomène les lois du courant électrique $\left(E - Li = R\frac{l}{S}i\right)$, en remarquant que la densité de courant est

$$\frac{i}{S} = n\mu\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx'}{dt}\right)$$

et la différence de potentiel $l$X ; on obtient l'équation

$$(2) \quad \frac{d^2x}{dt^2} - \frac{d^2x'}{dt^2} = \frac{l}{LSn\mu}X - \frac{Rl}{LS}\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx'}{dt}\right)$$

Si l'interprétation mécanique est possible, il faut, d'après les équations (1) et (2) que :

$$m' . f(\rho) = m f(\rho') = \eta ; \frac{l}{LSn\mu} = \frac{\mu(m'+m')}{mm'} ;$$

$$\frac{\varepsilon\eta}{mm'} = \frac{Rl}{LS}$$

Telles sont les relations que l'expérience devra vérifier entre les constantes du phénomène de transport et de frottement des ions et celles de la conduction électrique, pour justifier les précédentes hypothèses.

P.-L.-C.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

*Séance du 9 Avril 1902.*

La réunion mensuelle est précédée de l'Assemblée générale annuelle au cours de laquelle il est procédé au renouvellement partiel des membres du Bureau et du Comité d'Administration. Sont élus :

Président (exercice 1903-1904). M. Ed. Hospitalier.

Vice-présidents : MM. Brillouin et Desroziers.

Trésorier : M. Violet.

Secrétaires : MM. Bourguignon et Durand.

Membres : MM. Arnoux, Blondel, Blondin, Boucherot, Boulanger, Brunswick, Brylinski, Chaumat, Chevrier, Cornu, Détroyat, Guillaume (Ch. Ed.), Mazen, Pirani, Raveau, de Romilly, Villard.

Commission des comptes (année 1902) : MM. Guilbert, F. Meyer, E. Sartiaux.

**M. Guilbert** lit ensuite, au nom de la première commission, un rapport sur les ***Régulateurs des machines à vapeur***, et sur les conditions

auxquelles ils doivent satisfaire au point de vue de la commande des alternateurs et de leur accouplement en parallèle. Ce travail sera analysé ici-même par M. Guilbert.

M. **Pierre Weiss** présente un ***nouveau système d'ampéremètres et de voltmètres indépendants de leur aimant permanent.*** Ces appareils ont pour but d'éliminer les erreurs provenant des variations de la force des aimants permanents employés dans leur construction.

On sait que, dans les galvanomètres à palette de fer doux, la force directrice est donnée par le champ magnétique de l'aimant et la force déviante par le champ magnétique créé par un électro-aimant que parcourt le courant à mesurer. Dans les galvanomètres à cadre mobile, au contraire, la force directrice est indépendante de l'aimant, mais la force déviante est produite par la réaction du courant qui traverse le cadre sur le champ magnétique fourni par l'aimant permanent.

Par conséquent, lorsque l'aimant s'affaiblit, les appareils du premier genre donnent, pour un courant donné, une déviation trop grande et les appareils du second genre une déviation trop petite. En combinant convenablement les propriétés des deux genres d'appareils, on peut donc arriver à obtenir des indications indépendantes de ces variations de force de l'aimant permanent. Tel est le principe des ampèremètres et des voltmètres compensés de M. Weiss.

Ces appareils sont formés par des galvanomètres à cadre mobile, munis, à l'intérieur de ce dernier, d'une palette en fer doux mobile avec lui.

Quand on place un équipage ainsi construit entre les branches d'un électro-aimant et qu'on mesure le courant nécessaire pour produire une déviation donnée $\alpha$ lorsque l'on fait varier le champ magnétique depuis une valeur très faible jusqu'à une valeur très élevée, on constate ce qui suit : le courant, d'abord très intense décroît rapidement lorsque le champ augmente; lorsque le champ a atteint une valeur $\mathcal{H}$, l'intensité du courant cesse de décroître; elle reste constante jusqu'à ce que le champ ait atteint une seconde valeur $\mathcal{H}'$ à partir de laquelle elle recommence à décroître.

Par conséquent, un galvanomètre construit avec cet équipage donnera des déviations indépendantes des variations de la force de l'aimant permanent, tant que celle-ci sera comprise entre $\mathcal{H}$ et $\mathcal{H}'$.

Pour la même raison, deux appareils seront comparables entre eux, bien que leurs aimants ne soient pas identiques, pourvu que leurs champs magnétiques soient compris entre ces mêmes valeurs critiques. Enfin, les variations de températures n'auront pas non plus d'action sensible.

M. Weiss expose ensuite les conditions à réaliser pour contrebalancer le manque de souplesse des ressorts qui forment la force directrice électrique. Il étudie qu'elle est l'influence du défaut de centrage de l'équipage mobile par rapport au champ magnétique et l'influence de l'angle de calage de la palette en fer doux par rapport aux spires du cadre mobile; cette dernière est particulièrement importante. Dans toutes les expériences citées, les erreurs sont inférieures à 1/100.

Les appareils industriels, construits par la maison Japy, sont formés d'un aimant permanent ayant la forme d'un tore avec une coupure à bords parallèles et donnant un champ d'une valeur moyenne comprise entre $\mathcal{H}$ et $\mathcal{H}'$. Dans ce champ est placé le système mobile formé d'un cadre en fils métalliques isolés enroulés sur une bobine en aluminium et dans laquelle se trouve la palette en fer doux calée à 30° par rapport au cadre mobile.

Les voltmètres ont leur enroulement en manganine; les ampèremètres, en aluminium afin de ne pas fatiguer les pivots. Tous les ampèremètres sont du même modèle : ce sont des déciampèremètres ayant une résistance de 1 ohm; pour permettre à un même appareil de mesurer des intensités d'ordres différents, on le munit de shunts de résistance plus ou moins grande.

M. Arnoux demande si, en raison de l'hystérésis de la palette de fer doux, l'appareil donne des indications identiques pour une même valeur du courant à mesurer, lorsque cette valeur est obtenue en faisant croître le courant ou en le faisant décroître.

M. Weiss répond que l'expérience et la théorie montrent que les erreurs qui pourraient résulter de cette cause sont tellement faibles qu'elles se confondent avec les erreurs de lecture.

G. P.

---

*Le Gérant :* **C. NAUD.**

Tome XXXI. Samedi 26 Avril 1902. 9e Année. — N° 17.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



# APPAREILS DE MESURES DIVERS

Le dispositif de F.-W. Carter (1) est destiné à l'étude photométrique des lampes à arc et, en général, de toutes les lampes dont l'intensité n'est pas uniforme dans toutes les directions. La lampe étudiée L est placée sur la ligne CE des axes de rotation des miroirs $M_1$ et $M_2$, figures 1 à 3. Le miroir $M_1$ est fixé invariablement au bout du bras CD avec lequel il fait un angle de 45°: il peut ainsi tourner autour de la lampe L en envoyant un faisceau de lumière réfléchie parallèlement à C E. Un index permet de mesurer l'angle du bras CD avec la verticale figure 2.

Un second système à peu près semblable est fixé en B, figure 1 ; on y trouve encore le bras EF avec son index et son cadran divisé, mais le miroir $M_2$ peut tourner autour d'un axe HF et il est solidaire des tiges J qui coulissent en K dans le support d'un troisième miroir $M_3$, figures 1 et 2. Il résulte de cette disposition que $M_2$ et $M_3$ sont toujours en face l'un de l'autre, leurs plans faisant un angle de 90°. Le miroir $M_3$ est fixé sur un support porté par le banc du photomètre, de sorte que le rayon reçu par $M_1$ est renvoyé sur $M_2$ et $M_3$; de ce dernier, il arrive finalement sur l'écran P du photomètre.

Comme la comparaison se fait généralement avec un faisceau pris sur la même source lumineuse, le banc est séparé de la lampe par un écran opaque, percé d'une fenêtre S, afin qu'un petit faisceau seulement de la lumière de la lampe L soit envoyé sur la droite de l'écran A, après avoir été réfléchi par le miroir $M_4$.

L'indicateur de vitesse de G. Hinde Nisbett (2) consiste simplement en une petite dynamo

(1) Brevet anglais, n° 8 704. Déposé le 11 mai 1900, accepté le 21 juillet 1900. 5 figures.

(2) Brevet anglais, n° 20 189. Déposé le 9 octobre 1899, accepté le 1er septembre 1900. 1 figure.

actionnée par les roues du véhicule dont il faut mesurer la vitesse. Le courant de cette dynamo est envoyé dans un voltmètre à grande résistance, enregistreur ou non, et la mesure de la force électromotrice donne l'indication de la vitesse cherchée. Le voltmètre peut être gradué en vitesses au lieu de l'être en volts.

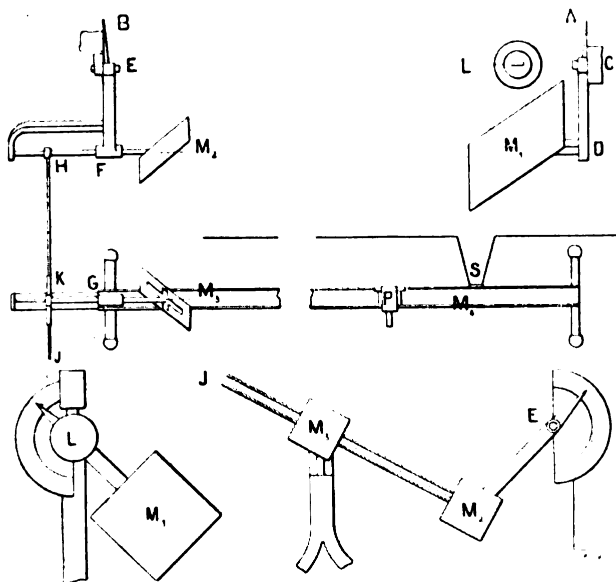



Fig. 1, 2 et 3. — Plan et détails du photomètre Carter.

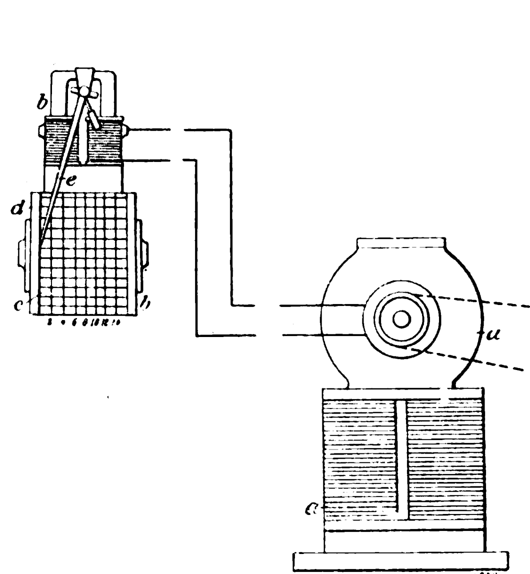



Fig. 4. — Indicateur de vitesse Nisbett.

Un coupe-circuit coupe le courant dès que la vitesse dépasse une limite fixée et agit en même temps sur un frein destiné à ralentir le mouvement. Ce coupe-circuit doit être disposé pour rétablir le courant dans le voltmètre dès que la vitesse est redescendue au-dessous du maximum fixé.

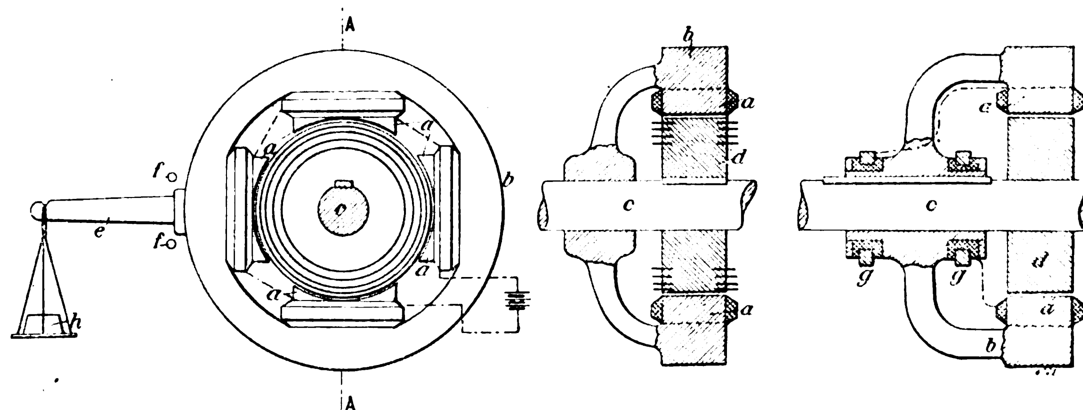



Fig. 5, 6, 7. — Frein électromagnétique Rieter.

La substitution des courants de Foucault au frottement, constitue tout le brevet de E. H. Rieter [1]. L'inventeur place, sur l'arbre du moteur dont il veut étudier la puissance, un anneau de métal conducteur, *d* figure 6, et il fait tourner cet anneau dans le champ fixe

[1] Brevet anglais, n° 2 702. Déposé le 10 février 1900, accepté le 4 août 1900. 3 figures. — Voir pour la réalisation pratique du dispositif breveté, *L'Éclairage Électrique* du 23 novembre 1901, t. XXIX, p. 269.

produit par un inducteur *b*, figures 5 et 6; les courants de Foucault développés dans le disque absorbent l'énergie produite et le disque réagit sur l'inducteur, mais un levier *e*, portant un plateau et des poids appropriés, produit un couple résistant que l'on règle jusqu'à faire équilibre au couple moteur; c'est la disposition bien connue de tous les freins électromagnétiques [1]. Le système peut être renversé en faisant mouvoir l'inducteur et en laissant fixe l'anneau *d*, figure 7; dans ce cas, il faut amener le courant aux électros par deux bagues *g*.

Le dynamomètre de transmission de A. Mark Morgan [2] renferme un système qui permet d'indiquer sur un cadran l'angle de torsion d'un ressort qui relie l'arbre moteur à l'arbre conduit.

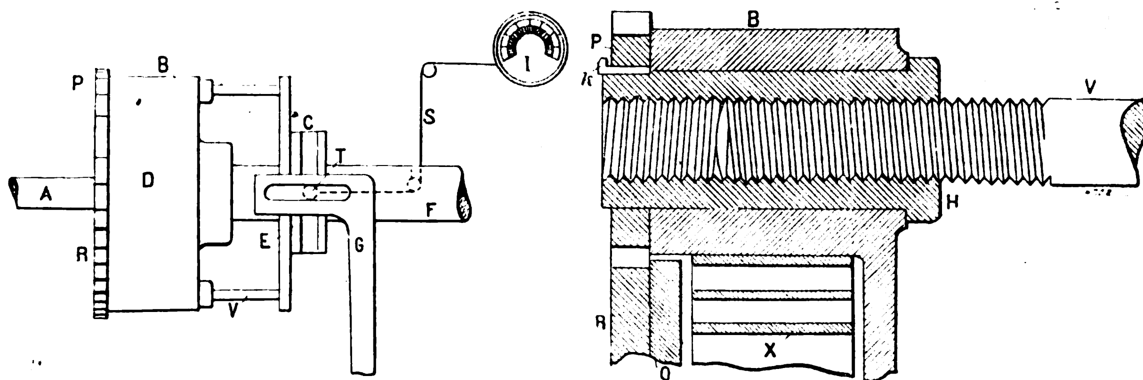



Fig. 8 et 9. — Dynamomètre de transmission Morgan.

Le ressort spiral X, figure 9, est fixé par son extrémité intérieure à l'arbre A et il est enfermé dans le tambour D, figure 8, auquel est reliée son extrémité extérieure. Ce ressort se tend plus ou moins, selon le couple de rotation transmis de l'un à l'autre des arbres, et sa torsion sert à la mesure du couple. Le tambour D porte un certain nombre de manchons H, dans lesquels entrent les tiges filetées V; ces manchons, qui tournent librement, servent d'axes aux pignons P et ces derniers engrènent avec la roue R solidaire de l'arbre A. De cette façon, tout mouvement relatif de A sur F se traduit par une rotation des manchons et les tiges filetées V sont vissées plus ou moins profondément. Les vis V sont fixées à un plateau E sur lequel est montée une poulie C, dans la rainure de laquelle tourne un anneau muni d'une goupille T. Les tiges V, en entrant plus ou moins dans les manchons H, produisent un glissement de la poulie C sur l'arbre F et la goupille T se déplace parallèlement à elle-même. Il suffit de relier la goupille T à un appareil indicateur quelconque, index et cadran par exemple, pour connaître constamment la valeur du couple de rotation.

H. Armagnat.

(1) Voir l'article de M. J. Guillaumé, freins dynamométriques à actions magnétiques et électromagnétiques, *Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 189 et 265, 9 et 23 novembre 1901.

(2) Brevet anglais, n° 17 593. Déposé le 31 août 1899, accepté le 18 août 1900. 5 figures.

## ESSAI DE DÉTERMINATION

DES

# ÉLÉMENTS D'UN PROJET DE CABLE SOUS MARIN

### PROPAGATION DU COURANT — VITESSE DE TRANSMISSION

Quand on étudie un projet de câble sous-marin, on se trouve en présence du problème suivant : connaissant la distance qui sépare les deux points à réunir, déterminer la spécification de l'âme, c'est-à-dire le poids de cuivre et de gutta qu'elle doit renfermer par mille marin, de manière que le câble puisse écouler un nombre donné de télégrammes par heure, au moment où le trafic est le plus chargé. Ce nombre de télégrammes représente un certain nombre de mots qui doivent être transmis au moyen des signaux conventionnels de l'appareil recorder ; comme, d'autre part, les quantités respectives de cuivre et de gutta conduisent à la détermination de la résistance et de la capacité par mille, le problème se ramène, pour l'ingénieur électricien, à celui-ci : calculer les valeurs maxima de la résistance et de la capacité qu'il convient d'adopter, pour qu'on puisse transmettre un nombre déterminé de signaux conventionnels dans un temps donné, une minute, par exemple.

Ce problème ne paraît pas avoir reçu jusqu'ici de solution complètement satisfaisante. On trouve bien, dans les traités spéciaux, des formules empiriques déduites des résultats obtenus dans l'exploitation d'un certain nombre de câbles ; mais ces formules présentent l'inconvénient de toutes les formules empiriques : bonnes pour des cas analogues à ceux qui ont servi à les établir, elles ne sauraient sûrement convenir à des cas différents [1].

Devant cette difficulté, certains auteurs ont proposé de modifier ces formules, et de les compléter en y introduisant de nouveaux termes. Un tel procédé doit évidemment réussir, mais il diminue énormément la confiance qu'on peut avoir dans des formules ainsi établies. On voit donc, sans qu'il soit besoin d'insister davantage, l'insuffisance des données actuelles de la technique, et l'intérêt que présente la recherche d'une solution générale du problème, qui, s'appuyant sur des bases rationnelles, s'appliquerait également à tous les cas.

Il nous a semblé que l'étude de la propagation des courants pouvait conduire à des données rigoureuses sur cette question, et voici sommairement la marche que nous comptons suivre. Après avoir établi par la théorie la relation qui lie l'intensité du courant d'arrivée aux constantes électriques du câble, nous en déduirons les courbes qui doivent s'inscrire sur la bande de l'appareil récepteur, lors de la transmission ordinaire des mots. Nous vérifierons, par l'expérience, que les courbes ainsi calculées sont bien identiques à celles qu'on reçoit effectivement, et nous en conclurons que les formules établies par la théorie conviennent bien à la pratique. Étudiant alors les différentes formes de signaux, obtenus suivant la vitesse de transmission adoptée, nous détermi-

---

(1) A l'appui de cette considération, il nous suffira de rappeler les difficultés que rencontra la commission instituée en 1896 par le gouvernement anglais pour étudier un projet de câble transpacifique. Ce câble devait avoir 3 560 milles, longueur supérieure à celle des câbles posés jusqu'alors. Deux types furent examinés par la commission, l'un renfermant 250 kg de cuivre et 167 kg de gutta par mille, l'autre 294 kg de cuivre et 180 kg de gutta. Les ingénieurs les plus compétents furent consultés sur la vitesse qu'on pouvait espérer réaliser avec chacune de ces spécifications. Leurs avis furent assez différents. Alors que M. Muirhead indiquait 320 signaux pour le type le plus léger, lord Kelvin penchait pour des nombres compris entre 240 et 320. Pour le deuxième type, les avis furent encore plus discordants : M. Muirhead indiqua 380 signaux, M. Preece 252 et MM. Gray et Lucas 280 ; l'écart fut de 128, soit la moitié du plus petit nombre indiqué.

On pourrait croire que la difficulté est moindre quand il s'agit de petits câbles et qu'aucune incertitude ne règne sur la solution du problème qui est posé au constructeur. Il n'en est rien. Si on cherche à appliquer aux câbles existants d'une longueur voisine de 500 milles les formules empiriques qui conviennent à ceux de 1 500 milles et au-dessus, on obtient des chiffres qui sont bien supérieurs à ceux que donne la pratique.

nerons la limite au delà de laquelle la lecture n'est plus possible; cette limite correspondra à la vitesse de transmission maximum ; la relation qui existera à ce moment entre les constantes et le nombre de signaux possibles sera la formule finale que nous cherchons et qui devra servir de point de départ à tout projet de câble.

Propagation du courant. — Le premier problème que nous ayons à résoudre est donc celui de la propagation du courant, autrement dit, de la relation qui existe entre le voltage ou l'intensité du courant en un point du câble à un moment donné et les constantes électriques du câble ainsi que celles des appareils de transmission et de réception. Ce problème ne paraît pas avoir été résolu d'une façon complète. Il y a bien une théorie, devenue aujourd'hui classique, qui traite la question quand les deux extrémités du câble sont libres, et qu'on néglige l'influence des appareils. Mais il y a longtemps qu'on a reconnu que cette théorie était insuffisante, car les câbles ne sont jamais libres à leurs extrémités. On a dû, pour éviter la circulation directe des courants telluriques, puis, pour augmenter la vitesse de transmission, les bloquer entre des condensateurs, et les phénomènes qui se produisent dans ces conditions sont beaucoup plus compliqués. Une tentative fort intéressante pour établir une théorie dans le cas général a été faite par M. Breisig ([1]). Il a essayé d'appliquer à la propagation des courants télégraphiques, la théorie des courants alternatifs sinusoïdaux. L'idée paraît séduisante. On sait, en effet, combien l'introduction des imaginaires et les représentations graphiques ont simplifié l'étude de ces courants particuliers. On pouvait donc espérer qu'en exprimant la force électromotrice constante de la pile de transmission au moyen d'une série de termes périodiques, calculés par le développement de Fourier, on ramènerait le problème à celui de la propagation d'un certain nombre de courants sinusoïdaux harmoniques et que la somme des valeurs de ces courants pour un point donné donnerait le courant réel passant en ce point. Malheureusement tout le calcul repose sur le développement de Fourier, et ce développement ne peut se faire qu'en connaissant la valeur de la période, qui convient au cas à étudier. Or le travail de M. Breisig est muet sur la façon dont cette période doit être calculée. Il s'est contenté de vérifier que ses formules s'appliquaient à un cas expérimental particulier pour lequel il déterminait la valeur de la période au moyen de la courbe reçue sur la bande d'arrivée. Mais on ne voit pas du tout comment on pourrait les appliquer à des cas différents, et encore moins comment on peut en déduire une relation fixant le maximum de la vitesse de transmission, de sorte que nous ne pouvons pas espérer trouver là, la solution de la question que nous nous sommes posée.

L'établissement des équations fondamentales, sans présenter de sérieuses difficultés mathématiques, exige cependant des calculs un peu longs. Nous indiquons ceux-ci le plus brièvement possible dans la note ci-dessous ([2]) et n'en retenons que la conclusion qui peut s'exprimer ainsi :

---

([1]) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 1046, 13 déc. 1900.

([2]) Si on appelle $\rho$ et $\lambda$ la résistance et la self-induction par unité de longueur, V et $i$ la tension et l'intensité du courant en un point distant de $x$ de l'origine du câble, on aura une première équation en exprimant que dans un élément $dx$ la perte de tension est due à la résistance ohmique et à la force contre-électromotrice de self-induction.

$$-dV = i\rho dx + \lambda \frac{di}{dt} dx.$$

Soient $\gamma$ et $\rho'$ la capacité et l'isolement par unité de longueur ; la diminution du courant est due à la charge électrostatique de l'élément et à la perte par défaut d'isolement.

$$-di = \gamma \frac{dV}{dt} + \frac{V}{\rho'} dx.$$

Ces deux équations conviennent au cas le plus général de la propagation du courant sur une ligne, quel que soit le mode de production du courant, la nature des appareils aux extrémités, etc.

L'élimination de $i$ donne

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \gamma\lambda \frac{d^2V}{dt^2} + \left(\gamma\rho + \frac{\lambda}{\rho'}\right)\frac{dV}{dt} + \frac{\rho}{\rho'} V.$$

*Dans le problème de la transmission des courants télégraphiques par les câbles sous-marins, quatre cas se présentent en pratique : le câble est libre à ses deux extrémités — il est bloqué soit au*

---

Pour les câbles sous-marins $\rho'$ est fort grand; $\frac{\rho}{\rho'}$ est négligeable. La plus grande incertitude règne sur la valeur qu'il convient d'attribuer à $\lambda$. La théorie ne permet pas de calculer la self-induction d'un circuit ouvert et aucune détermination expérimentale n'a été faite. Nous en sommes réduits aux hypothèses. Nous proposons d'adopter la plus commode, celle où $\lambda$ est nul. Nous verrons plus tard que les résultats auxquels nous arriverons, sont vérifiés par l'expérience, nous sommes donc en droit de supposer dès maintenant que $\lambda$ est très petit, assez petit pour être négligeable dans le cas qui nous occupe.

L'équation différentielle fondamentale se réduit à

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \gamma\rho \frac{dV}{dt} \tag{1}$$

et celle qui donne le courant à

$$i = -\frac{1}{\rho}\frac{dV}{dx}. \tag{2}$$

L'intégrale complète de l'équation (1) n'est pas connue, mais on peut chercher une intégrale particulière qui convienne à notre problème.

Posons pour cela

$$V = e^{mx + nt}.$$

On vérifie qu'une expression de cette forme sera une intégrale de (1) à la condition que

$$n = \frac{m^2}{\gamma\rho}.$$

D'ailleurs l'expression $V = \alpha x + \beta$ est évidemment aussi une solution de (1).

On peut donc espérer avoir une solution acceptable en formant l'expression

$$V = \alpha x + \beta + a_1 e^{m_1 x + \frac{m_1^2 t}{\gamma\rho}} + a_2 e^{m_2 x + \frac{m_2^2 t}{\gamma\rho}} + a_3 \ldots$$

ou bien

$$V = \alpha x + \beta + \sum_0^\infty a_n e^{m_n x + \frac{m_n^2 t}{\gamma\rho}} \tag{3}$$

composée d'un nombre indéfini de termes et en déterminant les quantités arbitraires $\alpha . \beta$, $a_1\, a_2 \ldots a_n$, $m_1\, m_2 \ldots m_n$, de manière à satisfaire aux conditions particulières du problème.

Nous supposerons qu'au poste de départ on établisse, à l'origine des temps, le courant au moyen d'une pile de force électromotrice E constante, et qu'on se borne tout d'abord à calculer la valeur du voltage en chaque point du câble à partir de ce moment et pendant une période de temps très grande. Il est bien évident que la valeur de V ne peut croître indéfiniment avec le temps, il faut que $m^2$ soit négatif. Alors $m$ est imaginaire, $e^{mx}$ pourra être remplacé par une somme de sinus et de cosinus réels et mettant en évidence le signe de $m^2$ on écrira l'expression (3).

$$V = \alpha x + \beta + \sum_0^\infty e^{-\frac{m_n^2 t}{\gamma\rho}} (A_n \sin m_n x + B_n \cos m_n x)$$

Nous allons maintenant déterminer les coefficients $\alpha, \beta, m$, A et B.

Nous considérerons pour cela 4 cas particuliers : *a*) câble à la terre à ses deux extrémités ; *b*) câble isolé à l'arrivée ; *c*) câble isolé aux deux extrémités ; *d*) câble isolé au départ.

$\alpha$, $\beta$, $m$ seront déterminés par les conditions relatives aux extrémités. A et B seront donnés par la condition que le voltage pour les deux premiers cas, la charge pour les deux autres, soient nuls à l'origine des temps en tout point du câble.

Nous donnons dans les tableaux A et B le détail des calculs. Nous désignons par $l$ la longueur du câble, C et R la capacité et la résistance totales. Pour déterminer les coefficients A et B nous employons l'artifice indiqué par Fourier qui consiste à faire $t = 0$, à multiplier chaque terme de V par $\sin \frac{K\pi x}{l}$ et à intégrer entre o et $l$. Cette

*départ, soit à l'arrivée par un condensateur de capacité $C_1$. — il est bloqué à ses deux extrémités par*

---

intégrale doit être identiquement nulle. En donnant à K les valeurs 1.2... $n$, on en déduit les valeurs de $A_1 A_2 \ldots A_n B_1 B_2 \ldots B_n$. Nous obtenons ainsi les quatre formes de V que nous distinguons par les indices 1, 2, 3, 4, et qui correspondent aux quatre cas énumérés plus haut.

TABLEAU A. — *Détermination des constantes.*

$$V = \alpha x + \beta + \sum_0^\infty e^{-\frac{m_n^2 t}{\gamma\rho}} (A_m \sin m_n x + B_n \cos m_n x)$$

1er CAS

*Les deux extrémités sont à la terre*

1re condition $\begin{cases} x = l \\ V = 0 \end{cases}$ conséquence $\begin{cases} \alpha l + \beta = 0 \\ B = 0 \\ ml = n\pi ; \end{cases}$

remplaçons dans la valeur de V

$$V_1 = \alpha (x - l) + \sum_0^\infty A_n e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{CR}} \sin \frac{n\pi x}{l}.$$

2e condition $\begin{cases} x = 0 \\ V = E \end{cases}$ conséquence $\alpha = -\frac{E}{l}$ ;

remplaçons dans la valeur de $V_1$

$$V_1 = E\left(1 - \frac{x}{l}\right) + \sum_0^\infty A_n e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{CR}} \sin \frac{n\pi x}{l}$$

3e condition. $\begin{cases} V = 0 \\ t = 0 \\ \text{quel que soit } x \end{cases}$ conséquence :

$$0 = \int_0^l E\left(1 - \frac{x}{l}\right) \sin \frac{K\pi x}{l}\, dx + \sum_0^\infty \int_0^l A_n \sin \frac{n\pi x}{l} \sin \frac{K\pi x}{l}\, dx$$

La 2e intégrale est égale à

$$\sum_0^\infty \frac{A_n}{2} \int_l^0 \left[\frac{\cos(n-K)\pi x}{l} + \frac{\cos(n+K)\pi x}{l}\right] dx.$$

Elle est constamment nulle pour les valeurs entières de K différentes de $n$. Pour $K = n$, elle donne

$$\frac{El}{n\pi} + \frac{1}{2} A_n l = 0$$

d'où

$$A_n = -\frac{2E}{n\pi}$$

Remplaçons dans $V_1$

$$V_1 = E\left[\left(1 - \frac{x}{l}\right) - 2 \sum_0^\infty \frac{1}{dn} e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{CR}} \sin \frac{n\pi x}{l}\right].$$

2e CAS

*Extrémité isolée à l'arrivée*

1re condition $\begin{cases} x = l \\ i = 0 \\ \frac{dV}{dx} = 0 \end{cases}$ conséquence $\begin{cases} \alpha = 0 \\ B = 0 \\ ml = \frac{n\pi}{2} \ (n \text{ impair}). \end{cases}$

remplaçons dans la valeur de V

$$V_2 = \beta + \sum_0^\infty A_n e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{4CR}} \sin \frac{n\pi x}{2l}$$

2e condition $\begin{cases} x = 0 \\ V = E \end{cases}$ conséquence $\beta = E$

remplaçons dans la valeur de $V_2$

$$V_2 = E + \sum_0^\infty A_n e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{4CR}} \sin \frac{n\pi x}{2l}$$

3e condition. $\begin{cases} V = 0 \\ t = 0 \\ \text{quel que soit } x \end{cases}$ conséquence

$$0 = \int_0^{2l} E \sin \frac{K\pi x}{2l}\, dx + \sum_0^\infty \int_0^{2l} A_n \sin \frac{K\pi x}{2l} \sin \frac{n\pi x}{2l}\, dx$$

La 2e intégrale est égale à

$$\sum_0^\infty \frac{A_n}{2} \int_0^{2l} \left[\frac{\cos(n-K)\pi x}{2l} + \frac{\cos(n+K)\pi x}{2l}\right] dx.$$

Ici $n$ est impair. Cette intégrale est nulle pour toute valeur de K, paire ou différente de $n$. Pour $K = n$, elle donne

$$2\frac{El}{n\pi} + \frac{1}{2} A_n l = 0$$

d'où

$$A_n = -\frac{4E}{n\pi}$$

Remplaçons dans $V_2$

$$V_2 = E\left[1 - \sum_0^\infty \frac{4}{\pi n} e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{4CR}} \sin \frac{n\pi x}{2l}\right]$$

*des condensateurs de capacité $C_1$, et $C_2$. Le deuxième et le troisième cas donnent des résultats iden-*

TABLEAU B. — *Détermination des constantes.*

$$V = \alpha x + \beta + \sum_0^\infty e^{-\frac{m_n^2 t}{\gamma\rho}} (A_n \sin m_n x + B_n \cos m_n x)$$

3e CAS

*Les deux extrémités sont isolées.*

1re condition $\left\{ \begin{array}{l} x = 0 \\ i = 0 \\ \frac{dV}{dx} = 0 \end{array} \right\}$ conséquence $\left\{ \begin{array}{l} A = 0 \\ \alpha = 0 \end{array} \right.$

remplaçons dans V

$$V_3 = \beta + \sum_0^\infty B_n e^{-\frac{m_n^2 t}{\gamma\rho}} \cos m_n x$$

2e condition $\left\{ \begin{array}{l} x = l \\ i = 0 \\ \frac{dV}{dx} = 0 \end{array} \right.$ conséquence $ml = n\pi$

remplaçons dans $V_3$

$$V_3 = \beta + \sum_0^\infty B_n e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{CR}} \cos \frac{n\pi x}{l}$$

3e condition. — Calculons la charge totale du câble depuis l'origine jusqu'en $x$ au temps $t = 0$. On aura

$$\int_0^x \gamma V\, dx = A + \beta\gamma x - \gamma \sum_0^\infty \frac{B_n l}{n\pi} \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Cette charge doit être nulle en tout point. Elle sera nulle pour $x = l$ si $A = -\beta\gamma l$ et en tout autre point si on a

$$0 = \int_0^l \beta(x - l) \sin \frac{K\pi x}{l}\, dx - \sum_0^\infty \frac{B_n l}{n\pi} \int_0^l \sin \frac{n\pi x}{l} \sin \frac{K\pi x}{l}\, dx$$

Faisons comme au premier cas $K = n$

$$\frac{\beta l^2}{n\pi} + \frac{B_n}{2} \frac{l^2}{n\pi} = 0 \qquad B_n = -2\beta$$

remplaçons dans $V_3$

$$V_3 = \beta\left[1 - 2\sum_0^\infty e^{-\frac{\pi^2 n^2 t}{CR}} \cos \frac{n\pi x}{l}\right]$$

4e CAS

*Extrémité isolée au départ.*

1re condition $\left\{ \begin{array}{l} x = 0 \\ i = 0 \\ \frac{dV}{dx} = 0 \end{array} \right\}$ conséquence $\left\{ \begin{array}{l} A = 0 \\ \alpha = 0 \end{array} \right.$

remplaçons dans V

$$V_4 = \beta + \sum_0^\infty B_n e^{-\frac{m_n^2 t}{\gamma\rho}} \cos m_n x$$

2e condition $\left\{ \begin{array}{l} x = l \\ V = 0 \end{array} \right\}$ conséquence $\left\{ \begin{array}{l} \beta = 0 \\ ml = \frac{n\pi}{2} \ (n \text{ impair}) \end{array} \right.$

remplaçons dans $V_4$

$$V_4 = \sum_0^\infty B_n e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{4CR}} \cos \frac{n\pi x}{2l}$$

3e condition. — On a pour la charge totale de l'origine en $x$ pour $t = 0$

$$\int_0^{2x} \gamma V dx = M - \gamma \sum_0^\infty \frac{2l}{n\pi} B_n \sin \frac{n\pi x}{2l}$$

Cette charge doit être nulle quel que soit $x$

$$0 = \int_0^{2l} M \sin \frac{K\pi x}{2l}\, dx - \gamma \sum_0^\infty \frac{2B_n l}{n\pi} \int_0^{2l} \sin \frac{n\pi x}{2l} \sin \frac{K\pi x}{2l}$$

Faisons encore $K = n$

$$\frac{4lM}{n\pi} + \frac{2l^2\gamma B_n}{n\pi} = 0 \qquad B_n = \frac{2M}{\gamma l} = \frac{M}{C}$$

remplaçons dans $V_4$

$$V_4 = \frac{2M}{C} \sum_0^\infty e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{4CR}} \cos \frac{n\pi x}{2l}$$

Nous remarquerons que les valeurs 3 et 4 renferment encore une constante arbitraire. C'est qu'en effet, nous avons été obligés de faire une intégration pour calculer la charge totale du câble. Pour compléter notre calcul, nous allons être obligés de faire une hypothèse sur la manière dont au poste de départ les courants pourront être produits sur un câble dont l'extrémité est isolée.

*tiques et les formules qui expriment en fonction du temps la valeur du courant d'arrivée se réduisent à trois.*

---

Pour cela, nous supposerons qu'une première partie du câble de capacité C ait son armure indépendante du reste du câble et que cette armure au lieu d'être mise à la terre, soit mise en communication à l'origine des temps avec un pôle d'une pile E, (fig. *a*) dont l'autre pôle est à la terre. Au bout d'un temps aussi long que nous voudrons, $t = \infty$ par exemple, le voltage du câble aura une certaine valeur uniforme $V_\infty$ sur toute la longueur ; en assimilant le câble à deux condensateurs en cascade de capacité $C_1$ et $C - C_1$ dont l'armature commune est au potentiel $V_\infty$, tandis que les armatures extrêmes sont aux potentiels E et o, on exprimera que les charges sont égales

$$C_1(E - V_\infty) = (C - C_1)V_\infty$$

d'où

$$V_\infty = \frac{C_1 E}{C}.$$

D'ailleurs pour

$$t = \infty \quad V_3 = \beta = V_\infty = \frac{C_1 E}{C}.$$

On aura finalement pour $V_3$ la valeur

$$V_3 = \frac{C_1 E}{C}\left[1 - \sum_0 e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{CR}} \cos\frac{n\pi x}{l}\right].$$

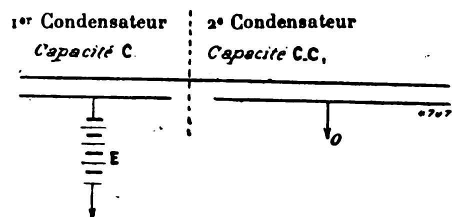



Fig. *a*.

Pour terminer le calcul de $V_4$ nous remarquerons que le premier condensateur dont nous venons de parler a pris au bout du temps $t = \infty$ une charge égale à $C_1 E$, car la deuxième armature est à la terre par l'âme du câble. Cette charge a du être appelée à l'intérieur du câble par l'extrémité libre, elle représente donc la charge totale prise par le câble au bout du temps $t = \infty$ et il est facile de voir que cette charge n'est autre que M.

Donc

$$M = C_1 E$$

et on a pour $V_4$ la valeur

$$V_4 = 2\frac{C_1 E}{C}\sum_0^\infty e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{4CR}} \cos\frac{n\pi x}{2l}.$$

Le calcul du courant aux différents points du câble se fait par la formule (2)

$$i = -\frac{1}{\rho}\frac{dV}{dx}$$

qui va nous permettre d'établir les formules donnant la valeur du courant au poste d'arrivée.

Pour simplifier l'écriture, nous prendrons pour variables les quantités $u$ et V définies par

$$u = e^{-\frac{\pi^2 t}{CR}} \qquad v = e^{-\frac{\pi^2 t}{4CR}}$$

Le calcul de $i$ à l'arrivée se fait sans difficulté dans le premier et le quatrième cas, au moyen de l'équation (2) dans laquelle on fait $x = l$. On trouve

$$i_1 = \frac{E}{R}[1 - 2(u - u^4 + u^9 - u^{16} + \ldots)]$$

$$i_4 = \frac{C_1 E}{CR}\pi[v - 3v^9 + 5v^{25} - 7v^{49} + \ldots]$$

Pour le deuxième et le troisième cas, la formule (2) donne $i = 0$ pour $x = l$ quel que soit $t$. Ce qui est évident, puisque nous avons supposé le câble isolé au poste d'arrivée. Mais à mesure que le potentiel varie à l'intérieur du câble, il se produit en chaque point une variation de charge qui par unité de temps est égale à $\gamma dx \frac{dV}{dt}$. Il doit donc s'écouler pour chaque élément de longueur de l'armure un courant égal, et on peut calculer le courant total

***

1$^{er}$ *cas.* — *Câble libre à ses deux extrémités* (fig. 1).

$$i_1 = \frac{E}{R}\left[1 - 2(u - u^4 + u^9 - u^{16} + \ldots)\right] = \frac{E}{R} U_1.$$

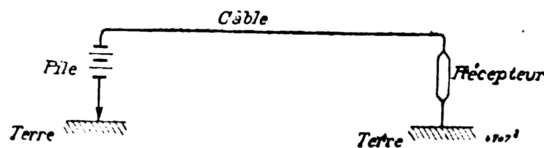



Fig. 1.

---

qui traversera l'armature sur une longueur $a$ voisine du poste d'arrivée. On aura

$$i = \int_{l-a}^{l} \gamma dx \frac{dV}{dt}.$$

Si $a$ est petit par rapport à $l$, on pourra supposer que $\frac{dV}{dt}$ est une constante par rapport à $x$ et lui attribuer la valeur correspondante à un point quelconque compris entre $l - a$ et $l$, par exemple au point $l$. On aura alors

$$i = a\gamma \frac{dV}{dt}$$

ou bien, en remarquant que $a\gamma$ représente la capacité $C_2$ du câble sur la longueur $a$,

$$i = C_2 \frac{dV}{dt};$$

on obtient ainsi les expressions

$$i_2 = \frac{C_2 E}{CR} \pi [v - 3v^9 + 5v^{25} - 7v^{49} + \ldots]$$

$$i_3 = \frac{C_1 C_2 E}{C} \frac{2\pi^2}{CR} [u - 4u^4 + 9u^9 - 16u^{16} + \ldots].$$

Nous ferons immédiatement remarquer que dans le cas où $C_1 = C_2$, $i_4$ est identique à $i_2$. Ceci est une conséquence du théorème de réciprocité. Dans un réseau complexe de conducteurs, si une force électromotrice E introduite dans une branche quelconque A produit un courant $i$ dans une branche B, réciproquement la force électromotrice E placée dans la branche B produira un courant $i$ dans la branche A.

Il nous reste à montrer que les formules que nous avons obtenues peuvent être appliquées au cas des installations réalisées dans l'exploitation des câbles.

Nous allons d'abord faire voir que les formules sont applicables quand le câble est formé de sections de spécifications différentes.

Remarquons d'abord que V et $i$ ne dépendent que des quantités $\frac{x}{l}$ et $\frac{t}{CR}$. Si on suppose deux câbles de spécifications différentes, mais de même *constante de temps* CR, en désignant par $l_1$ et $l_2$ leurs longueurs, on aura

$$CR = \gamma_1 \rho_1 l_1^2 = \gamma_2 \rho_2 l_2^2 \qquad (4)$$

Au bout du temps $t$, le voltage et le courant en un point $x_1$ du premier seront identiques à ceux du point $x_2$ du second si on a

$$\frac{x_1}{l_1} = \frac{x_2}{l_2}.$$

En vertu de l'équation (4) on aura

$$\frac{x_1^2}{x_2^2} = \frac{l_1^2}{l_2^2} = \frac{\gamma_2 \rho_2}{\gamma_1 \rho_1}$$

c'est-à-dire

$$\gamma_1 \rho_1 x_1^2 = \gamma_2 \rho_2 x_2^2$$

ce qui exprime que les constantes de temps $c_1 r_1$ et $c_2 r_2$ correspondant, pour chaque câble, à la partie comprise entre l'origine et les points considérés, sont égales. D'ailleurs, en ces points le voltage et l'intensité sont identiques à chaque instant, il est évident que les phénomènes qui accompagnent la propagation du courant pour la partie située au delà du point $x_1$ dans le premier câble ne seront pas modifiés si on remplace la section $ox_1$ par la section $ox_2$ du deuxième ; d'ailleurs dans cette nouvelle section $ox_2$ rien n'empêcherait de substituer une première section

2° *cas.* — *Câble bloqué au départ ou à l'arrivée par un condensateur* C (fig. 2 et 3).

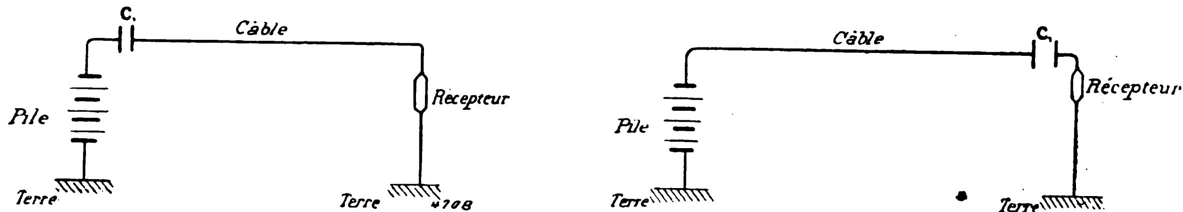



Fig. 2 et 3.

$$i_2 = \frac{C_1 E}{R} \pi \left[ v - 3v^9 + 5v^{25} - 7v^{49} + \dots \right] = \frac{C_1 E}{CR} \pi U_2.$$

3° *cas.* — *Câble bloqué à ses deux extrémités par des condensateurs* $C_1$ *et* $C_2$ (fig. 4).

$$i_3 = \frac{C_1 C_2 E}{C} \frac{2\pi^2}{CR} \left[ u - 4u^4 + 9u^9 - 16u^{16} + \dots \right]$$
$$= \frac{C_1 C_2 E}{C} \frac{2\pi^2}{CR} U_3$$

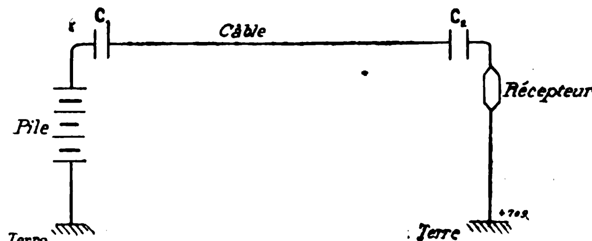



Fig. 4.

*formules dans lesquelles*

$$u = e^{-\frac{\pi^2 t}{CR}} \qquad v = e^{-\frac{\pi^2 t}{4CR}}$$

*et* $U_1$ $U_2$, $U_3$, *désignent par abréviation les fonctions de u et v comprises entre crochets.*

Pour faire commodément nos vérifications expérimentales, nous avons formé la table suivante des valeurs de $U_1$, $U_2$, $U_3$. Nous avons pris

---

$ox_1'$ du premier câble à une section équivalente $ox_2'$ et on est amené à cette conclusion qu'on peut remplacer une section quelconque d'un câble par une section d'un autre câble d'un modèle différent, si les deux sections ont la même constante de temps. Si donc on a à étudier la propagation du courant sur un câble formé de tronçons de spécifications différentes, on pourra ramener facilement ce problème à celui d'un câble homogène. Les longueurs seules seront changées. On choisira arbitrairement la spécification de l'unité de longueur $\gamma$ et $\rho$. Les différentes sections devront être considérées comme ayant des longueurs $l_1$, $l_2$, $l_3$, que nous appellerons *longueurs réduites* et qui seront données par les formules

$$l_1^2 = \frac{c_1 r_1}{\gamma\rho} \quad l_2^2 = \frac{c_2 r_2}{\gamma\rho} \quad l_3^2 = \frac{c_3 r_3}{\gamma\rho} \text{ etc., etc.}$$

La longueur totale de ce câble fictif sera $l = l_1 + l_2 + l_3 + \dots$ et sa constante de temps

$$CR = \gamma\rho\, l^2 = \gamma\rho\, (l_1 + l_2 + l_3 + \dots)^2.$$

Ces remarques étaient nécessaires pour faire comprendre comment on pouvait appliquer, avec quelques chances de succès, les formules que nous avons établies aux cas réels de la pratique où la transmission et la réception des signaux se font à travers un condensateur. La capacité $C_1$ du condensateur de départ donne avec la résistance $R_1$ de la pile de transmission une certaine constante de temps $C_1 R_1$. De même à l'arrivée, le condensateur $C_2$ et le récepteur $R_2$ donnent une autre constante $C_2 R_2$. On pourra essayer d'appliquer les formules en tenant compte, pour le calcul de CR, non seulement de la capacité et de la résistance du câble, mais aussi des deux constantes propres aux appareils. On calcule les longueurs réduites $l_1$ et $l_2$ qui doivent s'ajouter à la longueur réelle du câble et la constante de temps qui devra intervenir dans les calculs sera donnée par la formule

$$CR = \gamma\rho(l_1 + l + l_2)^2.$$

Nous supposerons toujours, dans la suite, que la quantité CR a été déterminée de cette manière et nous l'appellerons la *constante totale de temps*.

pour variable au lieu de $t$, la quantité $\frac{t}{CR}$ qui donne aux résultats un caractère absolument général et permet de les appliquer sans difficulté à chaque cas particulier. Ceci revient à choisir la quantité CR comme unité de temps.

| $\frac{t}{CR}$ | $U_1$ | $U_2$ | $U_3$ | $\frac{t}{CR}$ | $U_1$ | $U_2$ | $U_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,01 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,16 | 0,594 | 0,587 | 0,199 |
| 0,02 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,17 | 0,628 | 0,590 | 0,182 |
| 0,03 | 0,001 | 0,009 | 0,021 | 0,18 | 0,664 | 0,586 | 0,166 |
| 0,04 | 0,011 | 0,045 | 0,080 | 0,19 | 0,696 | 0,582 | 0,151 |
| 0,05 | 0,034 | 0,109 | 0,156 | 0,20 | 0,724 | 0,575 | 0,136 |
| 0,06 | 0,070 | 0,189 | 0,222 | 0,30 | 0,896 | 0,470 | 0,052 |
| 0,07 | 0,119 | 0,272 | 0,267 | 0,40 | 0,962 | 0,372 | 0,019 |
| 0,08 | 0,176 | 0,349 | 0,291 | 0,50 | 0,986 | 0,304 | 0,007 |
| 0,09 | 0,236 | 0,414 | 0,300 | 0,60 | 0,994 | 0,227 | 0,003 |
| 0,10 | 0,294 | 0,466 | 0,296 | 0,80 | 0,999 | 0,138 | 0,000 |
| 0,11 | 0,352 | 0,507 | 0,285 | 1,00 | 1,000 | 0,083 | 0,000 |
| 0,12 | 0,406 | 0,539 | 0,270 | 1,20 | 1,000 | 0,052 | 0,000 |
| 0,13 | 0,457 | 0,560 | 0,253 | 1,60 | 1,000 | 0,019 | 0,000 |
| 0,14 | 0,506 | 0,575 | 0,235 | 2,00 | 1,000 | 0,007 | 0,000 |
| 0,15 | 0,552 | 0,584 | 0,217 | | | | |

Une figure, qui sera donnée plus loin dans la seconde partie de cet article, représente les courbes $U_1$, $U_2$, $U_3$, et permet immédiatement de comprendre combien l'emploi des condensateurs est avantageux pour l'exploitation des câbles. Alors que sans condensateur le courant n'atteint les 9/10 de sa valeur maxima qu'au bout d'un temps égal à 0,30, avec un condensateur, cette valeur maxima est obtenue au bout du temps 0,17, et avec deux condensateurs au temps 0,09. Si on tient compte de ce que le courant est insensible pour $U_1$ pendant 0,03 et pour $U_2$ et $U_3$ pendant 0,02, on voit que, sans condensateur, le courant met 0,27 pour passer d'une valeur nulle aux 9/10 de sa valeur maxima alors qu'il atteint cette valeur maxima au bout de 0,15 avec un condensateur et de 0,07 avec deux condensateurs. Ces nombres varient à peu près dans le rapport de 4, 2 et 1.

Mais ces conclusions n'auront d'intérêt qu'après que nous aurons vérifié que la forme des courbes que nous venons de calculer est en parfaite concordance avec celles qu'on obtient réellement sur la bande d'appareils récepteurs; et auparavant il nous faut rechercher si ces appareils enregistrent fidèlement les variations des courants qui les traversent.

*Récepteur.* — Le siphon recorder est trop connu pour qu'il soit nécessaire d'insister sur sa description. C'est un galvanomètre, genre d'Arsonval, à suspension bifilaire, dont le cadre placé entre les pôles d'un fort aimant permanent porte un siphon, formé d'un tube capillaire, chargé d'inscrire sur une bande de papier qui se déroule devant son extrémité le mouvement du cadre lui-même. Mais il est nécessaire d'attirer l'attention sur quelques particularités de son fonctionnement.

On peut démontrer par l'application de la théorie du mouvement d'un solide autour d'un axe, et on peut vérifier expérimentalement que cet appareil jouit des propriété suivantes :

1° Si le cadre est dérangé de sa position d'équilibre par un choc mécanique, ou par un choc électrique (courant établi très brusquement), il exécute une série d'oscillations isochrones, d'amplitudes décroissantes. La durée de la première élongation ainsi que celle des suivantes est indépendante de l'amplitude, si cette amplitude est petite. Si le mouvement du cadre est convenablement amorti soit par un shunt, soit par tout autre procédé, il n'y aura plus d'oscillations, mais une seule élongation dont la durée sera égale à celle des oscillations précédentes, si les conditions mécaniques de l'appareil n'ont pas été modifiées.

2° Le nombre des oscillations par seconde ou la durée de l'élongation (cadre amorti) dépend de la tension de la suspension. Pour les appareils actuellement en usage, cette durée varie entre 1/8 (suspension à peine tendue) et 1/25 de seconde (suspension fortement bridée).

En nous appuyant sur ces considérations, cherchons à quelle condition la courbe inscrite sur la bande représentera fidèlement les variations du courant qui traverse le cadre du récepteur. Un courant établi très brusquement donnera lieu à une courbe telle que *acbe* (fig. 5). Il est évident, d'après ce que nous venons de dire, qu'un courant tel que $ac_1be$ ne pourra pas donner lieu à une courbe différente et par conséquent ne sera pas fidèlement enregistrée, au contraire un courant tel que $ac_2b_2e$ pourra être correctement inscrit. Il y aura donc intérêt à brider convenablement la suspension et il sera nécessaire de la brider d'autant plus que les courants à recevoir varieront plus rapidement. Comme la tension aura nécessairement une limite, et que cette limite correspond, ainsi que nous l'avons dit à 25 oscillations par seconde, on ne pourra pas recevoir correctement une série de courants alternés, dont les sommets se succéderaient à des intervalles de temps inférieurs à un vingt-cinquième de seconde. C'est là un inconvénient grave quilimite les cas dans lesquels cet appareil peut-être utilisé. Aussi a-t-on proposé de le remplacer par des dispositifs plus avantageux. Nous citerons celui de M. Ader qui se compose, au lieu d'un cadre, d'un simple fil fortement tendu, dont le nombre d'oscillations peut être très grand. Ce genre de récepteur est d'un fonctionnement beaucoup meilleur ; malheureusement l'inscription des signaux se fait par voie photographique et l'inconvénient des manipulations chimiques à exécuter est un obstacle sérieux à son emploi. D'ailleurs il ne présente de réels avantages que pour des courants variant très rapidement, ce qui ne se produit, ainsi que nous le verrons plus loin, que pour les câbles de faible longueur.

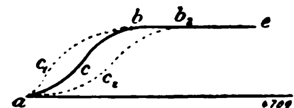


Fig. 5.

*A suivre.*

DEVAUX-CHARBONNEL.
Ingénieur des Télégraphes.

# CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE A GRANDE VITESSE DE ZOSSEN

III. RÉSULTATS DES ESSAIS PRÉLIMINAIRES. — 1° MOTEURS. — L'isolement des moteurs a été vérifié en appliquant 4000 volts entre le primaire et la masse ; puis on les a fait tourner à vide pendant deux heures entre 1 850 et 2 000 volts. L'essai à pleine charge présentait de nombreuses difficultés. Avec les freins mécaniques ordinaires, il est difficile de dépasser 100 chevaux pendant un certain temps : la charge du moteur sur une dynamo nécessitait l'emploi de très grandes poulies, à cause de la grande vitesse des moteurs : de plus, l'effort de traction sur les paliers pouvait amener des échauffements dangereux. Un procédé très pratique a été indiqué par Kapp : on accouple deux moteurs par poulies et courroies (grandes poulies en acier pour diminuer l'effort de traction sur les paliers), et on fait travailler un des moteurs au-dessous du synchronisme entraînant l'autre à une vitesse supérieure au synchronisme, comme génératrice asynchrône.

Devant la commission de la Société d'Études, on a procédé, le 21 juillet 1901, à l'essai simultané des moteurs avec leurs résistances et démarreurs, des interrupteurs de haute et moyenne tension et des transformateurs, disposés comme dans la réalité, les moteurs entraînant une dynamo. Les essais par courroie ont été poussés jusqu'à 200 chevaux. On a pu constater le bon fonctionnement des paliers ; les valeurs mesurées pour le courant à vide et le courant normal, le cos $\varphi$ et le rendement, coïncident parfaitement avec les valeurs calculées, représentées pour 1150 et 1850 volts par les courbes des figures 43 et 44, ou les diagrammes circulaires des figures 45

(1) Voir t. XXXI, p. 7 et , 5 et 19 avril 1902.

et 46 ; dans ces derniers, le courant de court-circuit calculé a été pris très faible, ainsi que le rendement et le cos φ, pour plus de sûreté.

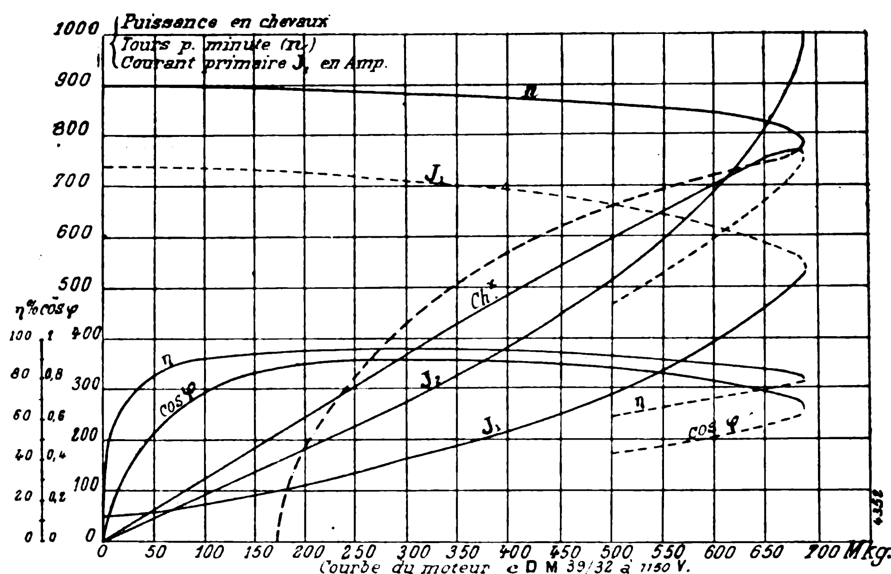



Fig. 43.

On voit, d'après les chiffres des diagrammes, que 4 moteurs n'étaient pas nécessaires pour traîner le poids de 96 tonnes ; on eût pu y arriver sûrement avec 3, et même avec 2. On aurait ainsi

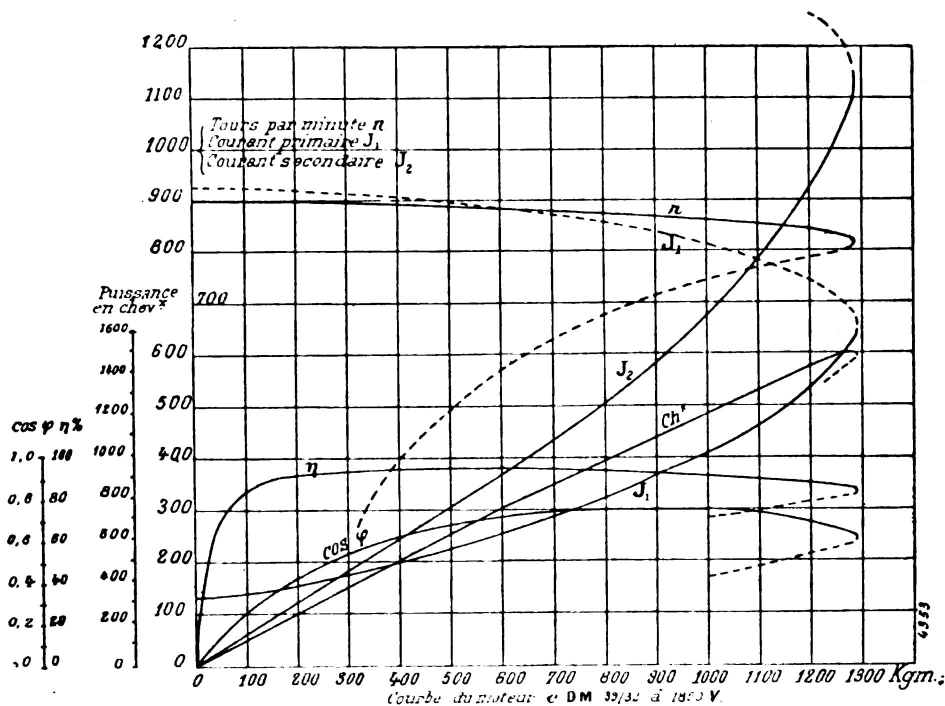



Fig. 44.

réduit le poids de la voiture de 90 à 74 tonnes, en employant seulement 2 moteurs, 1 transformateur, 2 résistances de réglage, 2 démarreurs et 1 commutateur de moyenne tension, en répar-

tissant les moteurs sur un bogie et le reste des appareils sur l'autre, d'où un poids par essieu libre de 11,6 tonnes, et par essieu moteur 13,8 tonnes.

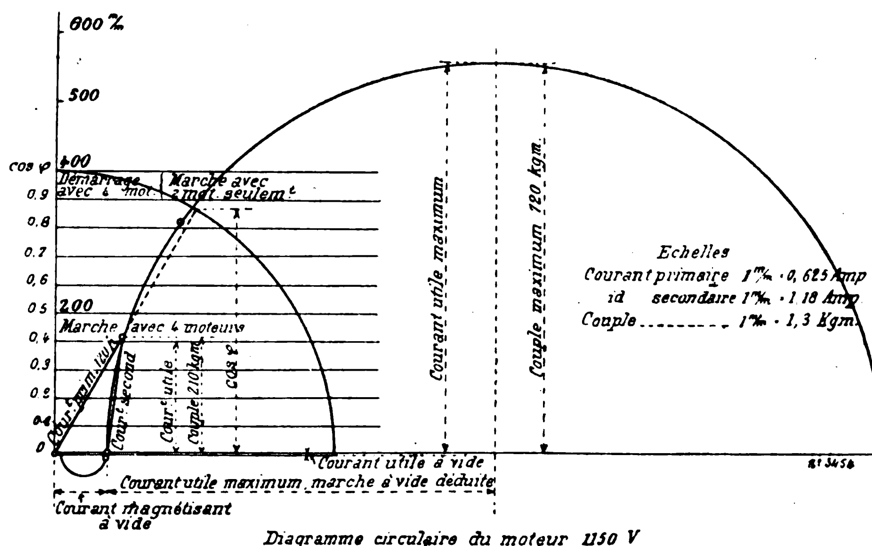



Fig. 45.

Le tableau suivant renferme les constantes relatives à ces différents modes de commande.

*Constantes du démarrage, d'après le nombre et le mode de connexion des moteurs.*

| NOMBRE des moteurs | MODE de connexion | F = EFFORT DE TRACTION des moteurs réunis en kg. | | | COUPLE D'UN MOTEUR en kgm. | | | COURANT SECONDAIRE en A. | | | ACCÉLÉRATION en m:sec. | DURÉE du démarrage en s. | LONGUEUR du démarrage en m. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | commencement | fin | milieu | commencement | fin | milieu | commencement | fin | milieu | $\gamma = \frac{gF}{P}$. | $t = \frac{57}{8}$. | $s = 28,5\ t$ |
| | | | | | | a. *Poids de la voiture* : 96 tonnes. | | | | | | | |
| 4 | λ | 3840 | 5040 | 4250 | 600 | 780 | 665 | 365 | 490 | 400 | 0,382 | 150 | 4260 |
| 4 | Δ | 2000 | 3200 | 2480 | 310 | 500 | 390 | 300 | 530 | 400 | 0,214 | 270 | 7700 |
| 3 | λ | 2700 | 3800 | 3140 | 560 | 790 | 645 | 340 | 500 | 390 | 0,260 | 220 | 6250 |
| 3 | Δ | 1500 | 2700 | 1940 | 315 | 560 | 405 | 290 | 550 | 390 | 0,138 | 410 | 11800 |
| 2 | λ | 1540 | 2720 | 2000 | 490 | 850 | 625 | 300 | 540 | 385 | 0,140 | 405 | 11400 |
| | | | | | | b. *Poids de la voiture* : 74 tonnes. | | | | | | | |
| 2 | λ | 1540 | 2720 | 2000 | 490 | 850 | 625 | 300 | 540 | 385 | 0,184 | 310 | 9100 |

Les relations entre les constantes du démarrage sont consignées dans les courbes des figures 47, 48 et 49, calculées d'après les considérations suivantes :

L'effort de traction du moteur est employé en partie pour vaincre les résistances de frottement sur les rails et sur l'air ; l'autre partie sert à communiquer une accélération $\gamma$ à la voiture ; d'ailleurs, si $v$ désigne la vitesse, on a

$$\gamma = \frac{dv}{dt};$$

d'où à la fin du démarrage

$$t = \int_0^v \frac{1}{\gamma} dv, \quad \text{temps du démarrage.}$$

$$s = \int_0^t v\,dt \quad \text{longueur du démarrage.}$$

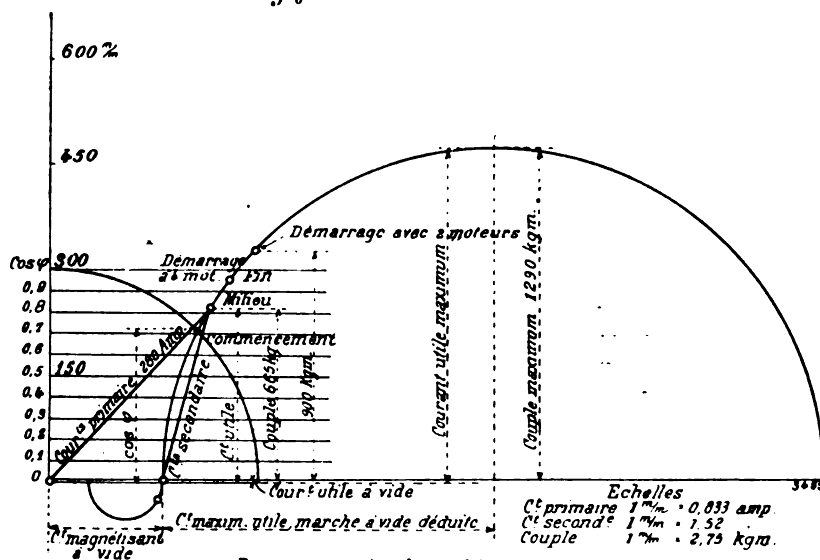



*Diagramme circulaire théorique du moteur sous 1850 V.*

Fig. 46.

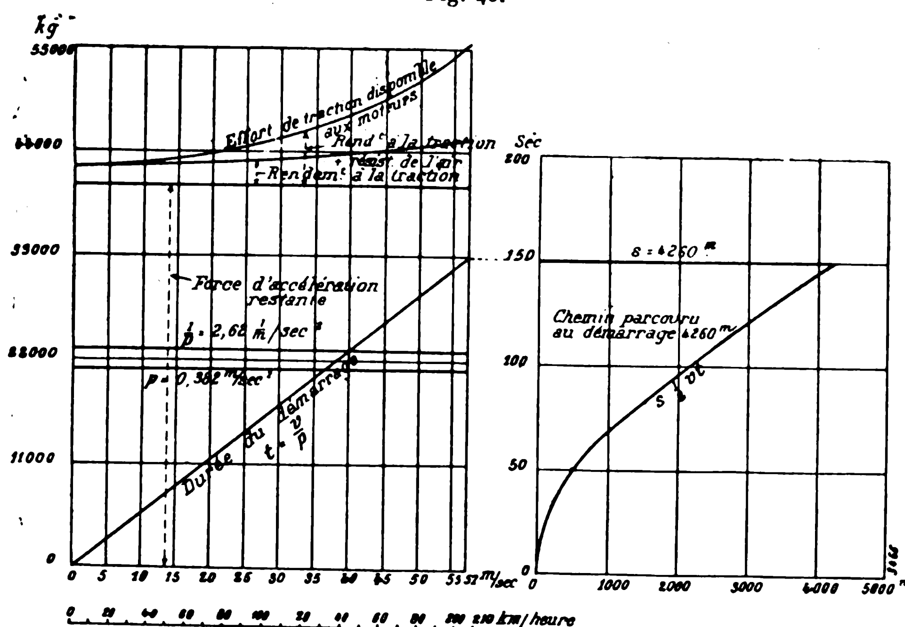



*Diagramme de démarrage*

Fig. 47 et 48.

Pour simplifier, on suppose que l'effort donnant naissance à l'accélération est constant, alors que la résistance au roulement et celle de l'air vont en croissant avec la vitesse. On a ainsi

$$t = \frac{v}{\gamma} \qquad s = \frac{1}{2} vt.$$

Les mêmes raisonnements s'appliquent au freinage ; dans ce cas, les résistances au mouvement s'ajoutent à l'effort de freinage ; si on suppose l'effet total constant, on a les mêmes équations. Les accélérations négatives, durées, etc. du freinage sont consignées dans les figures 50 et 51 pour le freinage mécanique, 52 et 53 pour le freinage électrique. La figure 50 indique de plus

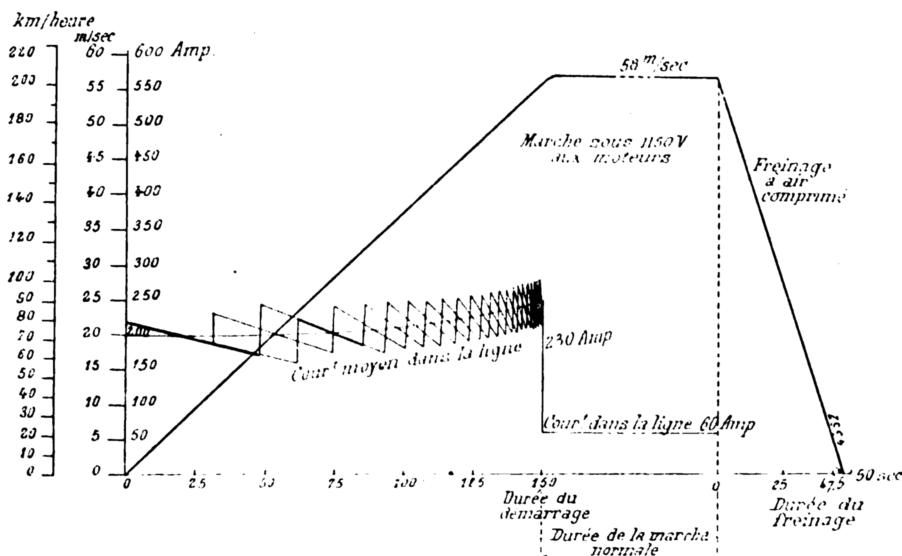



Fig. 49. — Courbe de marche en palier avec 4 moteurs.

la pression variable sur les sabots de frein : elle est d'ailleurs tracée pour le cas d'une accélération négative constante de 1,23 m : sec², valeur trop élevée qui doit être diminuée dans la pratique à cause du trop grand échauffement des sabots de frein, ou soulagée par l'aide du freinage élec-

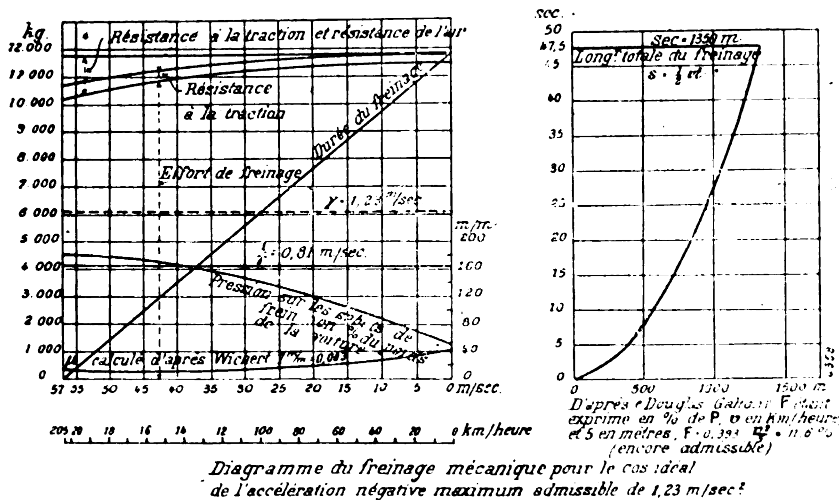



Fig. 50 et 51.

trique, mais qui est intéressante à constater comme cas le plus favorable du freinage ; des accélérations négatives de 1,1 m : sec² se présentent souvent.

Pour le freinage électrique (fig. 52 et 53), une dynamo à courant continu de 26 volts envoie du courant dans le primaire du moteur, soit 140 ampères, sous une résistance de 0,19 ohm. Alors est engendrée dans le secondaire une force électromotrice triphasée de 770 volts, qui travaille sur

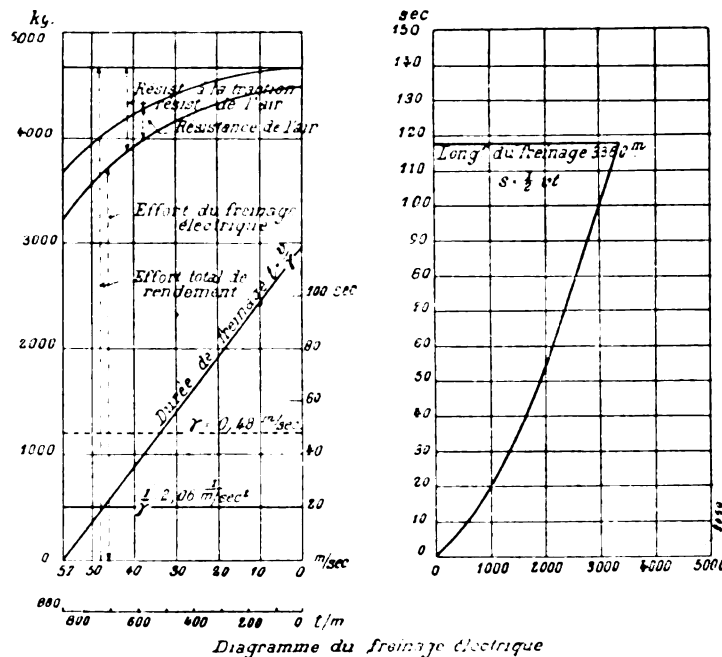


Fig. 52 et 53.

les résistances de démarrage. De cette façon, il n'y a que 4 essieux freinés; de plus, le couple de freinage tendant à diminuer avec le nombre de tours, on le règle en diminuant de plus en plus la résistance ; quand on arrive au court-circuit, l'effort de freinage devient rapidement nul : il faut y suppléer par le frein mécanique, ce qui est supposé dans les courbes (fig. 52 et 53), où l'on a admis une accélération négative constante.

Dans toutes ces courbes de freinage, on n'a d'ailleurs pas tenu compte du temps nécessaire à la manœuvre des appareils, ce qui prolongerait le temps de freinage de 2 secondes et 6 secondes, et les longueurs parcourues de 50 et 180 m, respectivement pour les freins mécanique et électrique.

2° *Démarreurs et résistances.* — Les résistances ont été essayées dans leurs boîtes, d'abord sans ventilation, puis avec un courant d'air de 3 à 4 m : sec. Les résultats des essais sont consignés dans la figure 54. Sans ventilation, les bandes de métal supportaient indéfiniment sans rougir une intensité de 300 ampères, qui correspond à l'intensité en marche normale avec résistance (210 ampères) ; elles supportaient 400 ampères pendant 4 minutes (courant qui ne dure, au démarrage, que pendant 2,5 minutes). Avec la ventilation que donnera la marche, on a donc toute sécurité.

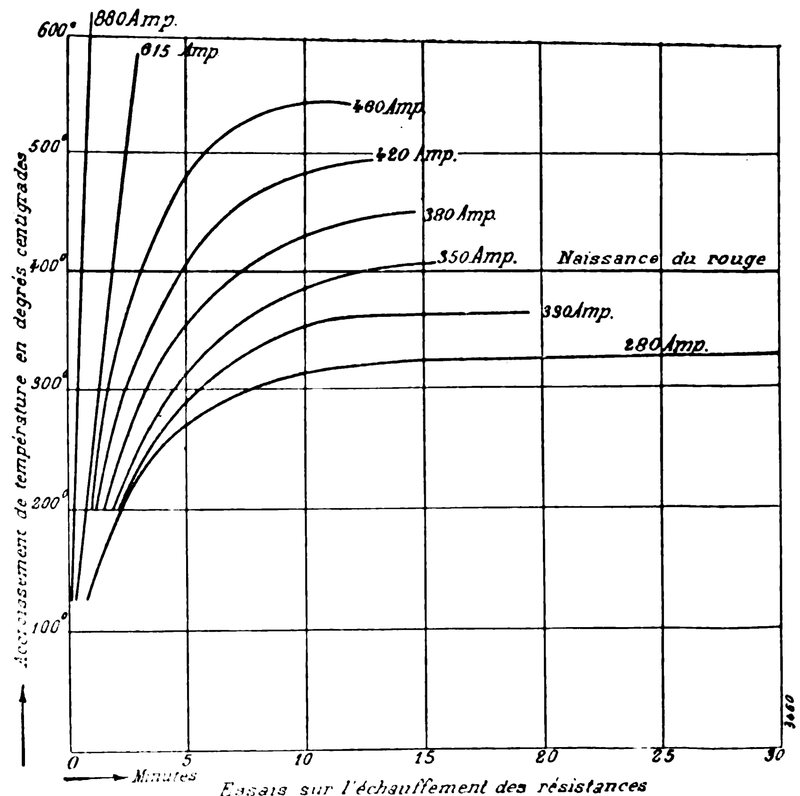


Fig. 54.

Essayés dans les mêmes conditions de courant que dans la marche, après 150 expériences, les démarreurs ont gardé tous leurs contacts en excellent état.

3° *Interrupteurs et coupe-circuits, transformateurs, etc.* — Les essais furent poussés jusqu'à la fusion des coupe-circuits de moyenne tension (550 ampères), tous les appareils étant installés ensemble (moteurs, transformateurs) ; le fonctionnement fut

reconnu très bon, y compris la commande à air comprimé. Dans les transformateurs, l'isolement a été vérifié par l'application de 20 000 volts pendant une heure.

Les isolateurs en ébonite ont été essayés comme suit : des cylindres de 400 mm de longueur et 65 mm de diamètre, les uns lisses, les autres munis de cannelures circulaires cunéiformes de 20 mm de profondeur furent placés tantôt horizontalement, tantôt verticalement sous une crépine ordinaire à eau, et sous la pluie qui en résulte, soumis à des tensions alternatives croissant jusqu'à 30 000 volts. On a constaté que les isolateurs cannelés supportaient horizontalement 12 000 volts par rapport à la terre, et 24 000 entre eux ; quant aux isolateurs lisses, ils étaient moins bons, surtout dans la position verticale. Les isolateurs à cloche ont été essayés à 20 000 volts, et les isolateurs à boucle, montés ordinairement par série de 3, jusqu'à 5 000 volts chacun.

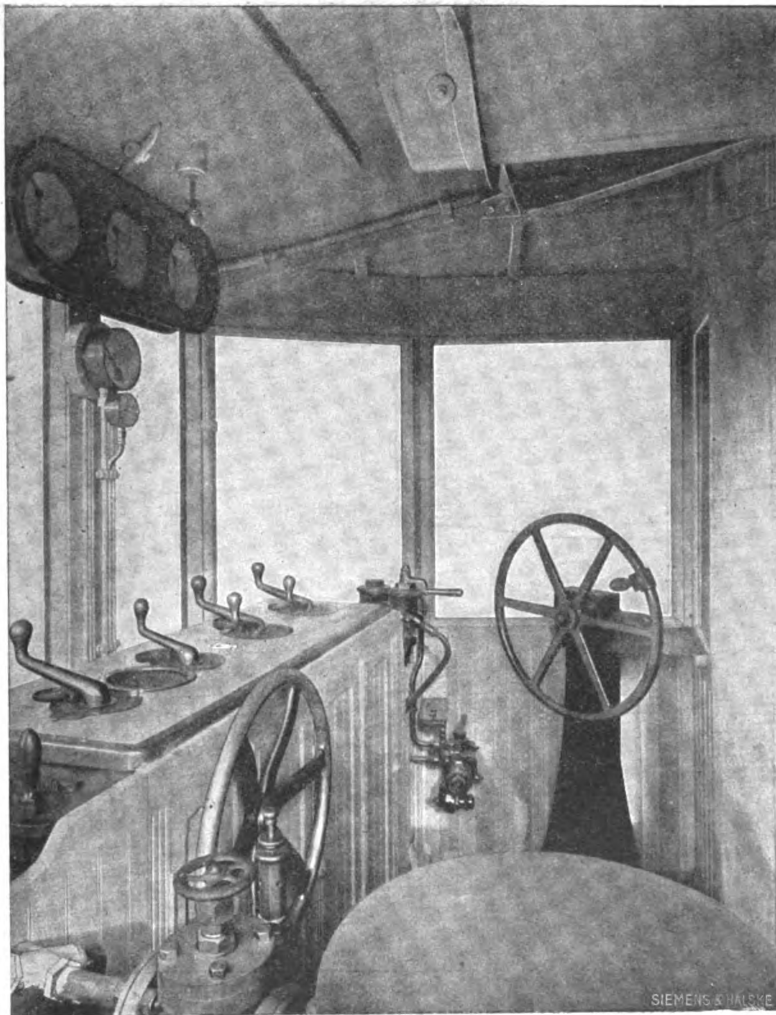



Fig. 55. — Vue de la cabine du mécanicien et des appareils de manœuvre.

Une série d'appareils de prise de courant a été installée sur un lori, et son fonctionnement sans étincelles vérifié sur la ligne d'essais en courants triphasés de Gross-Lichterfelde.

Les différents appareils à air comprimé ont été éprouvés à l'eau sous pression, les cylindres des appareils et les tubes en caoutchouc épais à 20 atmosphères, les robinets à 12 atmosphères, les conduites en fer à 8 atmosphères ; la puissance des pompes a été reconnue suffisante.

L'installation complète de la voiture a été terminée le 16 septembre ; et son poids trouvé égal à 89 tonnes.

La figure 55 donne une vue des appareils de manœuvre, et la figure 56 l'aspect général de la voiture prête à fonctionner.

La conduite en est très simple : pour la mise en route, le deuxième levier à gauche (moteurs)

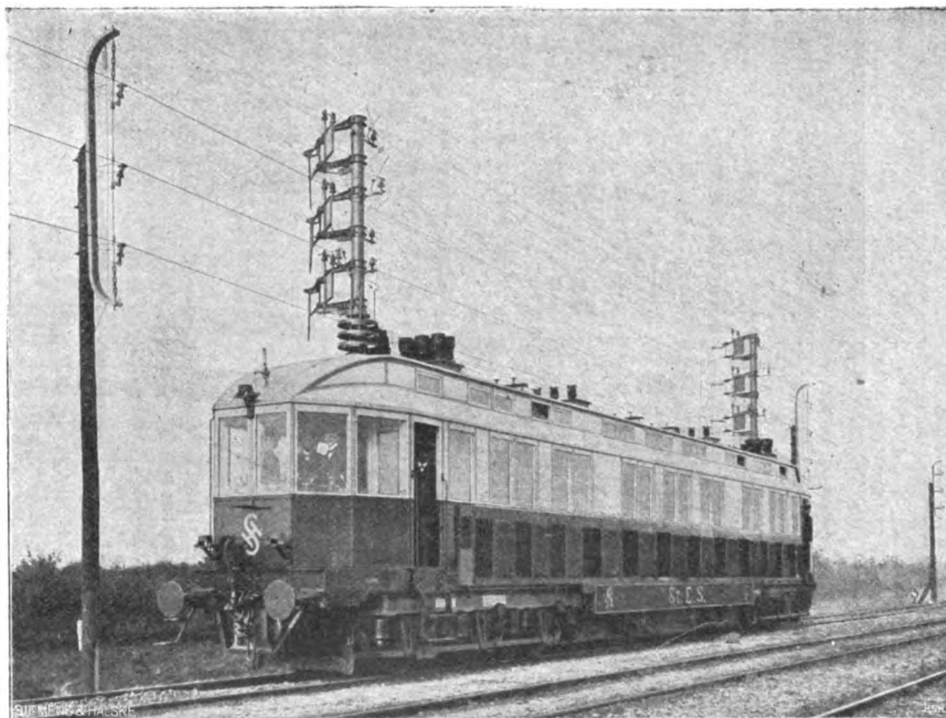


Fig. 56. — Aspect général de la voiture prête à fonctionner.

et la roue des démarreurs située à côté ; pour l'arrêt, le même levier seul, ce qui effectue automatiquement le retour du démarreur, puis à droite le robinet du frein Westinghouse ou le volant du frein à main.

A. Mauduit.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## TRACTION

***Mesures sur les courants circulant dans les conduites d'eau et de gaz d'un réseau de tramways,*** par **A. Larsen** et **S.-A. Faber**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 1038, 19 décembre 1901.

La Société des tramways de Copenhague a entrepris, pendant l'hiver 1901, une série de mesures sur un tronçon de ligne unique, n'aboutissant que par un seul chemin à la station.

Les mesures ont porté sur les trois cas suivants :

1° Pendant la nuit, on envoyait du courant dans le rail, au voisinage du point terminus du tronçon ;

2° De même pendant la nuit, on envoyait du courant dans le rail, mais au milieu du tronçon ;

3° Pendant le jour, en pleine marche des voitures.

Pour mesurer les courants circulant dans les rails ou dans les conduites, on relevait la différence de potentiel aux extrémités d'un segment

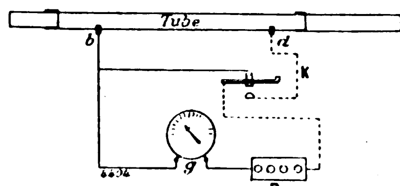



Fig. 1.

du conducteur, avec un galvanomètre, en employant le montage représenté figure 1.

On avait au préalable déterminé la résistance des différents segments, sur lesquels on voulait opérer : cette mesure de résistance se fait comme suit :

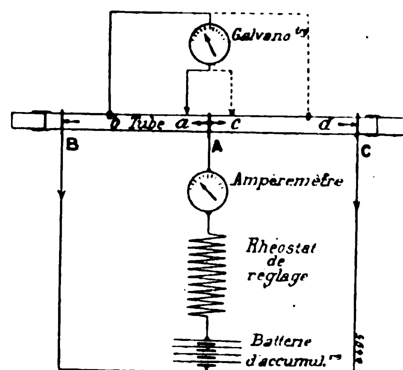



Fig. 2.

Soit à déterminer la résistance du tronçon *db*

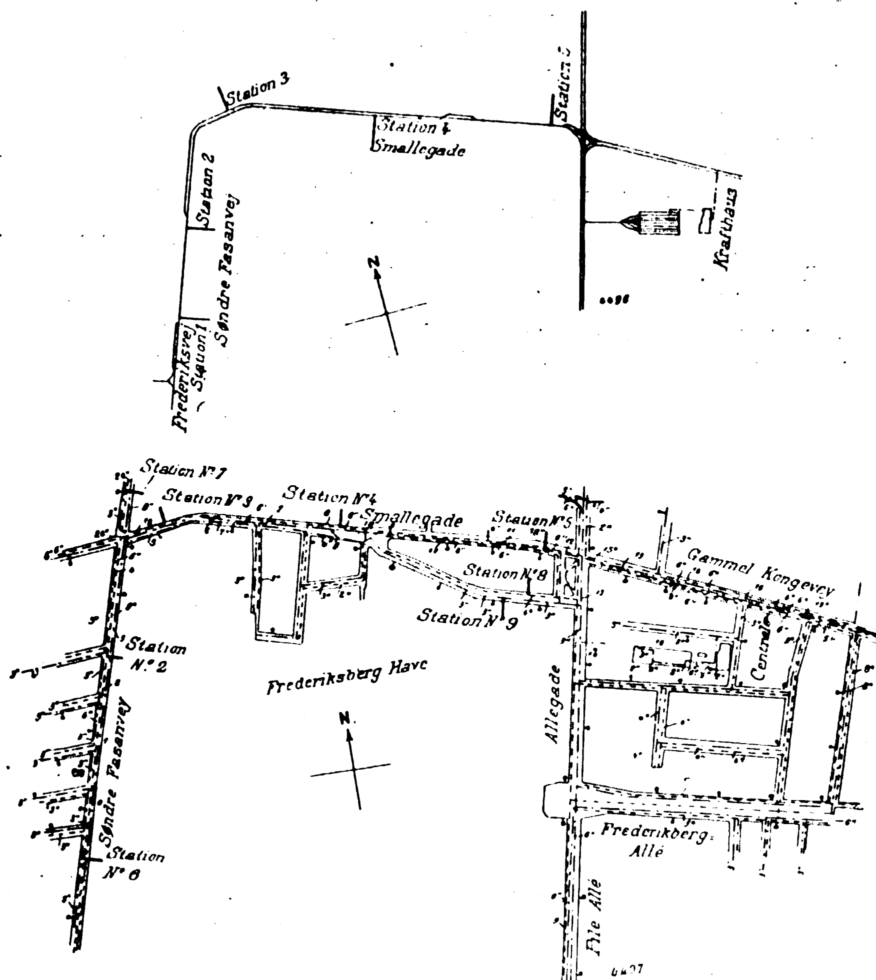



Fig. 3 et 4.

(fig. 2). Vers le milieu du tronçon on envoie | dans le rail ou le tuyau, par l'intermédiaire d'un

collier métallique A et d'une feuille de plomb ou d'étain, un courant, qui se partage en deux dérivations, que l'on capte à nouveau par deux colliers analogues B et C placés près des extrémités $b$ et $d$.

Le courant arrive à l'anneau A par quatre points de sa périphérie; les contacts $b$ et $d$ sont formés par des vis en laiton, $a$ et $c$ par des couteaux d'acier.

On mesure d'une part le courant total I au moyen d'un ampèremètre et les différences de potentiel $p_1$ et $p_2$ entre les points $a$ et $b$, $c$ et $d$,

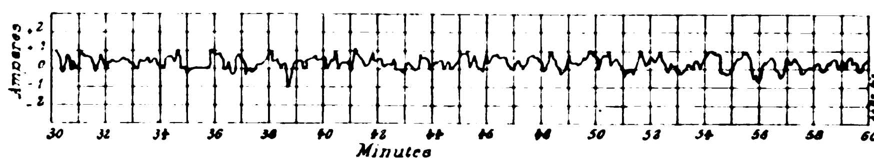


Fig. 5. — Courants dans une conduite de gaz, relevés le 29 avril 1901 entre 2 h. 30 et 3 heures. Interruption à la station centrale, d'une demi minute, vers 2 h. 35 1/2.

avec un galvanomètre de précision; on prend exactement $ab = cd$.

Si on appelle $i_1$ et $i_2$ les courants dans les deux branches, $r$ la résistance du tronçon $ab$, on a

$$r = \frac{p_1 + p_2}{I},$$

et par suite, pour la résistance totale du segment $bd$,

$$R = r\,\frac{bd}{ab}.$$

Les résistances ainsi obtenues, ont varié pour les tuyaux depuis 0,83 à 1,02 ohm par mètre de longueur et mm² de section, et pour les rails de $184.10^{-6}$ à $228.10^{-6}$ ohm par tronçon de 6 m de longueur. La résistance des tuyaux de fonte est ainsi sept à huit fois plus grande que celle du fer.

On a également relevé au laboratoire, le coefficient de variation avec la température, trouvé égal 0,00077 pour les tuyaux, soit le 1/5 du coefficient du fer pur environ, et 0,003 pour les rails.

Nous ne relaterons pas ici tous les résultats, mais seulement deux courbes relevées sur deux points des conduites (fig. 3, 4, 5 et 6).

Comme conclusions générales, les auteurs donnent les suivantes :

1° Sur le tronçon de 1 210 m soumis à l'expérience, dont les connexions de rail à rail étaient en bon état, les courants vagabonds représentaient environ pour la voiture au milieu du tronçon 10 p. 100 et pour la voiture à l'extrémité de la ligne 15 p. 100, du courant total.

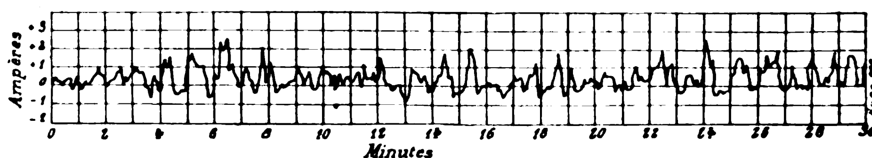


Fig. 6. — Courants dans une conduite d'eau, relevés le 22 avril 1901 entre 2 h. et 2 h. 30.

2° La somme des courants circulant dans les conduites représentait, dans les deux cas, à peu près la moitié des courants vagabonds totaux.

3° Les courants vagabonds, aussi bien ceux des conduites que ceux du sol, sont proportionnels au courant fourni à la voiture.

4° En exploitation normale, les courants suivent la marche des voitures et empiètent les uns sur les autres : par instants, le courant dans un endroit quelconque peut diminuer et même changer de signe.

A. M.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

### EXPOSITION DE PAQUES

La Société Française de Physique a tenu, le vendredi 4 et le samedi 5 avril, à l'Hôtel de la Société d'Encouragement, son exposition annuelle, qui est toujours un évènement pour les constructeurs et les savants désireux de présenter leurs appareils, et un centre d'attraction pour les physiciens et même pour le grand public qui s'y presse en foule.

Pour les visiteurs des séances du soir, l'attention était d'abord attirée et retenue par l'éclairage. A l'entrée resplendissaient les becs « Fulgur », de la Compagnie Universelle d'Acétylène, projetant en tous sens leurs dards de flamme devant leur réflecteur. Ces appareils intensifs n'étaient pas les seuls qu'alimentât l'acétylène ; la Compagnie Française de l'Acétylène dissous avait disposé, dans la salle du rez-de-chaussée, des puissants « Sirius » à incandescence portés au-dessus d'un récipient. Ces becs, qui peuvent fonctionner à partir d'une pression de 13 $cm^3$ d'eau, donnent un rendement d'une carcel-heure pour 3 litres de gaz; la dépense descend à 2 litres quand la pression s'élève à 1 mètre, ce qui, en mettant le carbure à 0,45 fr le kg, ou le gaz à 1,60 fr le mètre cube, donne la carcel-heure à 0,0032 fr. Il est juste de signaler que cet éclairage a rendu les plus grands services à un moment où la fusion d'un plomb avait plongé plusieurs salles dans l'obscurité.

L'éclairage électrique lui-même sortait de la banalité avec les lampes Nernst qu'on avait montées sur le lustre central de la grande salle et l'économiseur électrique système Weissmann et Wydts, qui éclairait la salle du conseil. Les nouvelles lampes à arc à courant alternatif de M. Cuénod, complétaient l'installation.

Dans l'exposition même, on remarquait une lampe en vase clos à électro-automoteur, système Froment. Cet appareil ne comporte pas de poulies, engrenages, cordelettes, etc., mais seulement un électro dont une partie de l'âme est mobile. Quand les deux parties viennent au contact, des leviers pressent des freins contre les deux tiges qui guident le mouvement vertical; si le courant baisse, les deux parties de l'âme se séparent sous l'action d'un ressort, et l'ensemble de l'électro-aimant peut glisser sur les tiges jusqu'à ce que le courant ait repris une valeur convenable. On met *une* lampe sur 110 volts; bien que les charbons doivent être d'une qualité qui rend leur prix un peu élevé et surtout que le rendement lumineux soit notablement plus faible que dans l'arc nu (1,95 watt par bougie) l'économie sur l'usure des charbons, qui durent 150 heures, est suffisante pour réduire la dépense de 8 p. 100 environ, d'après les calculs de M. Froment.

Une économie considérable résulterait aussi, d'après la Société des radiateurs diffuseurs, de l'adaptation aux arcs de ses *disques lumineux*, qui permettraient de supprimer les globes opales.

Mentionnons, à propos de l'éclairage, le très bel effet produit par la cascade lumineuse système Judic, exposée par la Compagnie Française d'Appareillage électrique (anciens Établissements Grivolas, Sage et Grillet) qui, par le jeu d'un simple commutateur tournant, nous montrait la chute de nombreuses veines lumineuses parallèles.

L'acétylène ne sert pas uniquement à l'éclairage, mais aussi à la production des hautes températures. On remarquait surtout les soudures autogènes par le chalumeau oxyacétylénique de la Compagnie Française; la Compagnie Universelle utilise, pour la production de l'oxygène, un composé préparé par M. Jaubert, *l'oxylithe*, qui dégage de l'oxygène par simple contact avec l'eau.

Le chauffage électrique était représenté par les appareils de la Société anonyme des anciens Établissements Parvillée. Nous remarquons : des poêles d'appartement à résistance métallo-céramique constitués par des agglomérés de poudre métallique et d'argile cuits à très haute température; des poêles montés avec des lampes spéciales de chauffage à filament de platine, consommant 200 watts. Ces lampes sont à l'air libre ; on les construit spécialement pour les appareils médicaux. Le « cataplasme électrique »

consomme 0,2 ampère sous 110 volts, et permet, grâce à un régulateur, d'obtenir des poussées de chaleur alternatives très favorables à l'action thérapeutique; la ceinture électrique sert pour la cure des rhumatismes, etc.

Une des nouveautés les plus intéressantes est l'exposition des appareils Dowsing pour l'utilisation curative de la chaleur radiante lumineuse, présentée par la Compagnie Générale de Chauffage par l'Électricité. Nous revoyons avec intérêt les appareils de M. Foveau de Courmelles, déjà présentés à la Société et qui permettent de projeter sur le malade, à travers une fenêtre de quartz, des rayons chimiques intenses provenant d'un arc compris entre deux miroirs concaves. En réglant l'écart de ces deux miroirs on fait varier la forme du faisceau, ce qui n'est pas sans intérêt, car, ainsi qu'on nous l'explique, les rayons parallèles ne brûlent pas, tandis que les rayons convergents ou divergents compliquent leur effet curatif, attesté par de nombreuses photographies, d'une brûlure accessoire.

Ne quittons pas la médecine sans parler de la radiographie qui se préoccupe de deux questions :

En même temps que M. Chabaud expose le radiochromomètre et la lunette radiochromométrique de M. L. Benoist. M. Contremoulins présente un *métroradioscope* récemment construit pour déterminer la *quantité* de rayons émis dans un temps donné et le degré de *pénétration* de ces rayons. On observe deux plages identiques d'un écran fluorescent, auxquelles on compare une plage éclairée par la lumière d'une flamme d'acétylène tamisée à travers une solution titrée de sulfate de cuivre. Pour déterminer la quantité, ou la régler, on amène à l'égalité la plage éclairée et une plage fluorescente qu'on regarde à travers un verre neutre, d'opacité convenable. En même temps l'éclat de la seconde plage fluorescente est amené à la valeur convenable par la rotation d'un disque métallique d'épaisseur variable d'un point à l'autre.

L'autre question est celle de la stéréoscopie radiographique. M. Béclère expose une série de radiographies stéréoscopiques; M. Guilloz utilise un principe connu en produisant simultanément deux images radioscopiques dans des conditions telles que chaque œil ne voit que l'image qui lui correspond, alors que l'autre œil est masqué. Le même phénomène est reproduit périodiquement pour les deux yeux, avec une fréquence suffisante pour donner la sensation de la continuité de l'image. Le relief apparaît quand se fait la fusion stéréoscopique des deux images monoculaires. Dans une ampoule de Crookes sont fixés deux disques de chrome, qui peuvent servir alternativement de cathode et qui constituent deux sources de rayons X dont la distance est environ celle des yeux (65 mm). On observe sur un écran, par rapport auquel les yeux de l'observateur sont symétriques, des disques. L'emploi du chrome évite le noircissement des tubes; la radiation est moins riche qu'avec le platine, mais la moindre fusibilité du chrome permet d'alimenter le tube plus puissamment.

Le grand succès de l'exposition a été aux appareils enregistreurs de courants, oscillographe, rhéographe, ondographe, etc. Les récents appareils de M. Hospitalier attiraient beaucoup l'attention, par la disposition particulière du style traçant horizontal et la simplicité de leur fonctionnement. Le manographe de MM. Hospitalier et Carpentier fonctionnait sur un moteur à gaz; un miroir est porté par une pièce triangulaire dont deux sommets ont un mouvement qui mesure la pression à l'intérieur du cylindre ou qui repère la position du piston.

On aperçoit sur un verre dépoli le cycle du moteur qu'on voit se déformer à volonté, suivant la façon dont on règle l'allumage.

Les appareils de mesure sont, en outre, représentés par une grosse bobine à coefficient d'induction variable, de M. Carpentier; MM. Chauvin et Arnoux exposent un voltmètre apériodique auquel on peut donner cinq sensibilités différentes, en appuyant sur autant de boutons; chaque bouton est protégé, quand il ne sert pas, par une pointe horizontale; on n'a jamais que deux connexions à établir; des contacts creux, entourés de caoutchouc, évitent, dans ces divers appareils, les courts-circuits. Dans les appareils enregistreurs, la régulation de vitesse s'obtient en faisant tourner une roue d'aluminium au voisinage d'un aimant dont on dérive à volonté une partie du flux à travers une pièce de fer doux mobile. M. Arnoux a construit, avec M. Guerre un trembleur de bobine qui produit un système très brusque, sans condensateur, à une fréquence de 345 périodes. Citons encore, parmi les appareils

exposés par M. J. Richard [1], des enregistreurs des variations de la vitesse angulaire des machines motrices, des ampèremètres et voltmètres à cadre mobile et un voltmètre thermique à enregistreur à cadran. La Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz présente : *le compteur O'K* destiné aux petits abonnés du courant continu ; l'appareil est à fermeture étanche ; les indications sont indépendantes de la température ; enfin la dépense de dérivation est complètement supprimée. Nous remarquons aussi les *ampèremètres Meylan-d'Arsonval* à courant continu et le *nouveau compteur Thomson*, qui a subi d'intéressants perfectionnements.

(1) M. J. Richard nous adresse une note sur les appareils qu'il exposait ; nous en extrayons les renseignements qui suivent sur les appareils les plus récents, renvoyant pour les autres à la note publiée dans le numéro du 27 avril 1901, p. 153, t. XXVII.

*Ampèremètres et voltmètres de précision apériodiques à cadre mobile.* — Ces appareils d'une précision remarquable sont à aimant permanent armé, ce qui assure une grande conservation du magnétisme de l'aimant ; s'il se produisait une diminution du champ, on pourrait y remédier en déplaçant légèrement l'armature de l'aimant.

La partie mobile est un cadre d'Arsonval. L'appareil donne des indications rigoureusement proportionnelles et jouit d'une apériodicité parfaite.

*Statoscope pour ballons.* — Afin de constater le déplacement vertical du ballon, c'est-à-dire la montée ou la descente par simple inspection d'une aiguille qui dévie à droite ou à gauche d'une ligne centrale, marquant 0, nous avons construit un appareil, basé sur le même principe que notre statoscope enregisteur. Il se compose d'un réservoir à paroi élastique communiquant avec l'atmosphère par un tube en caoutchouc. Pour se servir de l'appareil, il suffit de serrer entre les doigts le tube de caoutchouc de façon à emmagasiner dans le réservoir une certaine quantité d'air à la pression atmosphérique ambiante. S'il y a montée ou descente, la membrane élastique actionne l'aiguille qui dévie à droite ou à gauche.

*Banc stéréophotographique.* — Quels que soient les soins apportés à la construction d'un appareil stéréophotographique, on ne peut opérer à une distance inférieure à 50 cm sans altérer le relief. Pour obtenir un relief exact, il est nécessaire d'opérer avec des objectifs distants de moins de 65 mm. Pour réaliser ces conditions, MM. Colardeau et Richard ont eu l'idée de faire deux épreuves successives au lieu de les faire toutes les deux simultanément, ce qu'ils ont pu réaliser avec commodité et sécurité au moyen du banc stéréophotographique.

*Photographie en couleur.* — Il nous reste enfin à signaler la splendide collection de photographies en couleurs, obtenue par M. Collardeau avec le vérascope Richard. Le procédé employé est celui de Ducos du Hauron qui consiste en la superposition de trois clichés monochromes.

Le pyromètre à écoulement de gaz, récemment décrit ici même, est exposé par M. Job.

M. Chabaud avait réuni des appareils assez divers : *l'arc au mercure* Le Chatelier dans lequel le tube intérieur est recouvert, sur ses deux faces, d'un induit protecteur de magnésie, qui, au rouge, adhère complètement au verre ; il existe un modèle dans lequel la partie supérieure de l'ampoule renfoncée vers le bas, contient de l'eau que le fonctionnement de l'appareil porte à l'ébullition et qui se condense dans un serpentin supérieur ; le point de condensation du mercure est ainsi déterminé et une partie notable retombe dans le tube central. Le *replenischer* de M. Thomas, étudié spécialement au point de vue des dimensions, doit son excellent fonctionnement à la qualité du verre de la cage, sorte de cristal qui est aussi isolant que la diélectrine.

L'électromètre à filament de charbon de M. Villard est exposé par le même constructeur.

Le redressage des courants alternatifs a été obtenu par M. Nodon, au moyen de la polarisation électrolytique de piles : Fe — phosphate d'ammoniaque — Al allié à Zn. Entre les deux conducteurs alternatifs, on jette deux dérivations contenant, en série, deux piles opposées : Al — Fe, Fe — Al et Fe — Al, Al — Fe ; entre les deux Fe de l'une, et les deux Al de l'autre, on recueille du courant continu. Le rendement en puissance est 80 p. 100. MM. Rougé et Faget résolvent le même problème au moyen d'une permutatrice ; le courant alternatif, amené en deux points opposés d'un induit Gramme tétrapolaire, produit un champ magnétique qui se ferme sur un noyau concentrique à celui de l'anneau, avec une dérivation dans une pièce tournante également concentrique et intérieure. On recueille aux balais, mis en mouvement synchroniquement au courant, une différence de potentiel de la forme $U_0 \sin^2 \omega t$.

Les piles étaient représentées par la pile *endoxique* O'K, de M. Dobilly, composée de Zn, $SO^4Zn$. Pb ajouté, avec sous-sulfate de plomb ; pour régénérer l'élément, on lave le plomb, on sèche, on trempe 6 heures dans l'eau acidulée à 1/10 par l'acide sulfurique ; on rince dans l'eau. Le voltage est très constant : 1/2 volt.

M. Fredet a combiné un *accumulateur* dans lequel la matière active, constituée par un

mélange d'oxydes de plomb, malaxés dans une liqueur convenable, est maintenue dans les alvéoles qui la renferment, soit au moyen d'une chemise en toile de plomb, soit par des cloisons en porcelaine d'amiante très poreuse.

Nous voyons enfin, chez M. Pellin, la lunette de M. Pellat, pour l'observation facile des échelles micrométriques réfléchies par de très petits miroirs ; l'échelle, tracée sur verre, est éclairée par transparence ; la pièce de verre que traversent les rayons réfléchis par un miroir à 45°, est une lentille cylindrique convergente, qui concentre les rayons de la source sur le miroir. Dans la même exposition, nous voyons la lanterne de projection à charbons inclinés (modèle en service au Conservatoire des Arts et Métiers) et la projection du spectre des raies du fer avec les charbons (actino-carbone) de MM. Broca et Pellin.

C'est en mentionnant le téléphone haut-parleur et le microphone R. Gaillard et E Ducretet, que nous terminerons l'énumération des appareils qui ont attiré le plus vivement notre attention dans une visite trop rapide à l'Exposition de la Société Française de Physique.

Il nous resterait à parler de trois conférences : l'une d'elles, faite par M. Swyngedauw, portait *sur l'étude expérimentale de l'excitateur de Hertz ;* ayant eu le regret de ne pouvoir y assister, nous ne pouvons que faire connaître les conclusions de l'orateur, qui pense, contrairement à ce qu'ont avancé beaucoup de physiciens, que l'oscillation hertzienne n'est pas pendulaire amortie, les zéros du potentiel n'étant pas équidistants dans le temps. M. Janet a présenté l'*arc chantant*, déjà connu de nos lecteurs. Enfin, M. Weiss a exposé, au nom de M. Bose, des résultats très curieux sur lesquels nous reviendrons prochainement.

C. Raveau.

## ACADÉMIE DES SCIENCES

*Séance du 3 mars 1902.*

***Préparation au four électrique du siliciure de calcium***, par **H. Moissan** et **W. Dilthey**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 503-507.

On chauffe au four électrique un mélange intime de 35 gr d'oxyde de calcium pur et 35 gr de silicium pur au moyen d'un courant de 600 ampères sous 60 volts. L'expérience se fait dans un tube de charbon fermé à l'une de ses extrémités. Il faut avoir soin d'introduire le tube de charbon contenant le mélange dans le four électrique déjà chaud, et l'on doit le retirer dès que le produit est en fusion. Si, en effet, la masse fondue reste au contact du charbon du tube pendant un temps assez long, il se forme une notable quantité de carbure de calcium et finalement du siliciure de carbone. La préparation, du reste, est un peu délicate et doit être faite avec soin. La réaction se produit suivant l'égalité suivante :



$$2\,CaO + 5Si = 2CaSi^2 + SiO^2$$

Ce siliciure se présente sous la forme de cristaux de couleur grisâtre, très brillante, de densité 2,5 environ, insolubles dans l'alcool, l'éther, la benzine, l'essence de térébenthine et l'ammoniac liquéfié.

Chauffé au four électrique avec du charbon, ce siliciure est entièrement transformé en carbure de calcium et siliciure de carbone. Il décompose très lentement l'eau avec production d'hydrogène. Il agit plus rapidement sur l'acide chlorhydrique étendu en donnant de l'hydrogène sans formation d'hydrure de silicium.

***Sur un relais électrostatique***, par **V. Crémieu**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 524-526.

Pour fermer un circuit de pile, il est indispensable d'exercer sur les pièces en contact une certaine pression. Dans les appareils enregistreurs ou les appareils régulateurs automatiques, on ne dispose pas toujours d'une force suffisamment grande pour produire une pression convenable et l'on se trouve dans l'obligation d'employer divers artifices pour assurer le contact.

Une difficulté de ce genre ayant été rencontrée par l'auteur dans l'utilisation de son électromètre absolu [1] pour régler automatiquement le potentiel de charge d'un condensateur (la force dont on dispose dans les mouvements du fléau de l'appareil atteint à peine quelques millièmes de dyne), il l'a surmontée en interposant, entre le régulateur et le courant qui anime les appareils de réglage, le relais électrostatique suivant :

Le fléau de l'électromètre régulateur F (fig. 1) (supposé perpendiculaire au plan de la figure)

---

[1] *Écl. Élect.* t. XXVII, p. 422, 15 juin 1901.

porte une pièce de platine isolée PP. Quand le fléau est en équilibre, PP réunit entre elles les pièces fixes $AA_1$ séparément reliées aux paires de quadrants fixes $SS_1$.

Une aiguille de mica H, dorée sur une partie

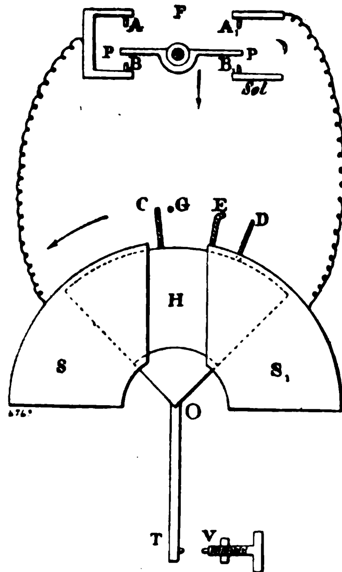



Fig. 1.

de sa surface et suspendue à un fil O, peut osciller entre ces deux paires de quadrants. Cette aiguille porte de petits contacts C et D ; on règle la torsion du fil O de manière que C vienne appuyer contre la tige fixe G, reliée à une source à potentiel élevé (ici, au condensateur même dont on veut régler le potentiel). Dans ces conditions, les quadrants $SS_1$ ne prennent que des charges faibles et sensiblement égales. L'aiguille reste immobile, en contact avec G.

Si le fléau vient à basculer, le contact PP quitte $AA_1$ et vient réunir entre eux B et $B_1$. $B_1$ est au sol et B, solidaire de A, en relation avec la paire de quadrants S. Celle-ci se charge aussitôt par influence et attire l'aiguille H. Dans ce mouvement, la tige T, solidaire de H et reliée à l'un des pôles du courant, vient appuyer contre la vis V reliée à l'autre pôle ; le circuit se ferme. En même temps, le contact D est venu rencontrer la tige fixe E qui est reliée à la paire de quadrants $S_1$. La charge de l'aiguille se partage alors entre elle et $S_1$ ; $S_1$ repousse donc H à partir de ce moment ; il en résulte sur l'aiguille une seconde impulsion qui vient annuler celle en sens inverse produite par le choc entre T et V.

La fermeture du courant ayant mis en jeu des appareils convenables, le potentiel atteint bientôt la valeur voulue, ce qui ramène le fléau F à sa position d'équilibre ; le contact PP touche alors de nouveau $AA_1$ ; l'aiguille est ainsi portée au même potentiel que les quadrants ; la torsion du fil la ramène à sa première position ; le circuit est rompu en TV.

Ce dispositif présente, suivant l'antenne, divers avantages [1].

***Sur l'emploi de l'électromètre capillaire pour la mesure des différences de potentiel vraies au contact des amalgames et des électrolytes,*** par **Lucien Poincaré**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 527.

A propos d'une note antérieure de M. Pierre

---

[1] Voici ces avantages :

« D'une part, les contacts les plus faibles de PP suffisent pour permettre aux charges à haut potentiel de passer de A à $A_1$ ou de B à $B_1$. Ces contacts ne s'accompagnent à la fermeture que d'étincelles très faibles ne mettant en jeu que des quantités très petites d'électricité. Il n'y a, par suite, pas de soudures comme celles provoquées par les étincelles dues à la self-induction dans un circuit de pile.

» D'ailleurs, pour la rupture des mêmes contacts, il n'y a aucune étincelle, puisque, à ce moment ces contacts sont toujours au même potentiel. La force nécessaire à cette rupture est donc rigoureusement égale à celle qui a produit la fermeture.

» Il se produit bien une soudure au contact TV ; mais la force qui agira pour la rompre peut se régler à volonté de façon à être toujours suffisante. Cette force est en effet le moment du couple de torsion du fil O qui maintient C contre G, augmenté du moment dû à la déviation de l'aiguille. Il suffit de donner à celle-ci une surface suffisante et de régler, pour chaque valeur du potentiel, sa distance aux quadrants. Quelle que soit la torsion primitive du fil, l'aiguille obéira à l'attraction des quadrants S pour la fermeture, et à la torsion du fil pour la rupture.

» Les seules conditions de bon fonctionnement sont une grande rigidité de l'aiguille et un bon amortissement.

» Il suffit donc de maintenir l'aiguille entre le fil de suspension et un fil de cocon fixé à sa partie inférieure ; l'amortissement est obtenu facilement avec une ailette métallique plongeant dans un bain d'huile d'amandes douces.

» L'appareil fonctionne parfaitement à partir de 1000 volts.

» Adapté à un électromètre sensible, en équilibre stable, comme celui décrit, il permet de régler automatiquement, avec une grande approximation, le potentiel d'un condensateur à partir de 1000 volts et pour toutes les valeurs désirables. »

Boley [1], l'auteur fait remarquer qu'il a lui-même décrit (Association française pour l'avancement des Sciences, Congrès de Marseille, 1891) une forme d'électromètre capillaire permettant la mesure des différences de potentiel au contact des amalgames et des électrolytes.

« J'ai, dit-il, utilisé cet électromètre pour l'étude de diverses questions, en particulier pour examiner la variation de la différence de potentiel avec la température. Je signalerai spécialement les propriétés curieuses que j'avais remarquées de l'amalgame d'étain en présence de l'acide sulfurique : pour cet amalgame, la valeur de la force électromotrice qui rend la constante capillaire maxima est sensiblement nulle dès la température ordinaire ; il en résulte qu'en construisant un électromètre avec cet amalgame, on obtient un instrument dont les indications sont indépendantes du signe de la force électromotrice. »

***Sur la recherche d'un rayonnement hertzien émané du soleil***, par **H. Deslandres** et **Décombe**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 527.

Les expériences faites jusqu'ici pour reconnaître si le soleil émet des ondes hertziennes, ont donné un résultat négatif; les auteurs discutent la probabilité de ce résultat.

Ils sont disposés à admettre que la surface de la photosphère n'émet pas d'ondes hertziennes, l'émission de la lumière par cette surface étant assimilable à celle de la lumière par les sources terrestres, lesquelles ne paraissent pas donner, dans les conditions normales, des ondes électromagnétiques. Mais par contre ils pensent que, l'illumination de l'atmosphère du soleil ayant très probablement une origine électrique, cette atmosphère doit émettre des ondes hertziennes. Ils rappellent, à l'appui de l'existence de phénomènes électriques dans l'atmosphère solaire, que récemment M. Arrhénius a pu expliquer toutes les particularités des comètes, des aurores boréales et des orages magnétiques terrestres, en admettant que l'atmosphère supérieure émet des rayons cathodiques, et que, antérieurement, l'un d'eux, M. Deslandres, avait présenté cette même hypothèse.

Si les ondes hertziennes émanées du soleil ne sont pas mises en évidence par les expériences tentées dans ce but, c'est donc que très probablement elles sont absorbées par les couches supérieures à très basse pression des atmosphères solaire et terrestre. Mais il se pourrait que les ondes émises au moment où l'atmosphère du soleil est le siège de phénomènes particuliers, comme la formation d'énormes protubérances dites *éruptives*, aient alors une intensité ou une longueur d'onde telles qu'elles ne soient plus complètement absorbées et puissent influencer les appareils terrestres. Aussi les auteurs estiment qu'il conviendrait de poursuivre les expériences en disposant, dans tous les observatoires d'astronomie physique, à côté des appareils consacrés à l'étude du soleil et de son atmosphère, des enregistreurs d'ondes électromagnétiques. On pourrait ainsi mieux saisir les relations pouvant exister entre la production d'ondes et celle d'autres phénomènes solaires ; de plus, on pourrait éliminer les ondes d'origine orageuse en ne considérant que les ondes donnant des impressions simultanées et dès lors attribuables à une cause générale pour la Terre entière.

***Explication de divers phénomènes célestes par les ondes hertziennes***, par **Charles Nordmann**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 530-533.

M. Nordmann pense aussi que le résultat négatif de ses expériences exécutées sur le mont Blanc [1] peut s'expliquer par le fait que les radiations électromagnétiques du Soleil doivent être absorbées par les couches supérieures raréfiées de l'atmosphère terrestre.

« Si la théorie électromagnétique de la lumière est exacte, dit-il, on peut considérer comme infiniment probable l'émission par le Soleil d'ondulations électriques. La surface générale de la photosphère doit être une source de radiations électromagnétiques, de même qu'elle émet des radiations lumineuses et calorifiques. L'étude spectrale de la chromosphère et des protubérances éruptives a montré, d'autre part, que la partie basse de l'atmosphère solaire est le siège de décharges électriques extrêmement intenses qui se produisent surtout dans les régions des taches et des facules, où, sous l'influence des mouvements violents de la surface solaire, il y a séparation d'électricité positive et négative. Dans ces décharges, il doit fréquemment se produire des ondes hertziennes comme il s'en

(1) *Écl. Élect.* t. XXX, p. 411, 15 mars 1902.

(1) *Écl. Élect.* t. XXX, p. 327, 1er mars 1902.

produit dans la décharge d'un excitateur actionné par une machine électrostatique. De tous ces faits, on est amené à déduire la proposition suivante :

« La surface du Soleil doit émettre des ondes hertziennes, et cette émission doit être particulièrement intense, dans les régions où se produisent de violentes éruptions superficielles et aux époques où l'intensité de ces éruptions est maxima, c'est-à-dire dans la région des taches et des facules et au moment du maximum de l'activité solaire. »

De cette proposition l'auteur déduit l'explication d'un certain nombre de phénomènes célestes restés jusqu'ici mystérieux ([1]).

---

([1]) Voici ces déductions :

« I. On sait, par les observations d'éclipses, que la couronne solaire est formée, d'une part par des filaments brillants de formes variables s'étendant à de grandes distances du Soleil et dont le spectre continu indique qu'ils sont constitués par des particules solides ou liquides incandescentes, et d'autre part par une atmosphère de gaz incandescents assez uniformément distribuée autour du Soleil, qui donne au spectroscope, notamment les raies brillantes de l'hydrogène, et la raie verte caractéristique du coronium que l'on observe jusqu'à une distance du Soleil notablement plus grande que pour les autres raies.

» Cette atmosphère gazeuse semble indépendante des filaments lumineux, car les raies qu'elle donne sont aussi intenses dans l'intervalle obscur de deux filaments qu'au milieu d'un de ceux-ci. Les phases de ces deux parties de la couronne sont d'ailleurs exactement inverses; les observations des éclipses de 1867, 1878, 1889, 1900, qui eurent lieu lors du minimum des taches solaires, ont montré nettement que la partie gazeuse de la couronne donne des raies beaucoup plus intenses et visibles à une distance du limbe bien plus grande lors d'un maximum que lors d'un minimum des taches.

» Au contraire, les filaments de corpuscules incandescents de la couronne s'étendent à une distance du Soleil beaucoup plus grande lors d'un minimum des taches que lors d'un maximum. Young a déduit ce fait des observations des éclipses de 1867 et 1878, et celles de 1889 et 1900 l'ont rigoureusement confirmé.

» Enfin, on sait que le rayonnement solaire (nous ne parlons pas du rayonnement électromagnétique) est moins intense lors d'un maximum des taches que lors d'un minimum : cela résulte des recherches bolométriques de Langley sur les taches; cela résulte enfin nettement des travaux de Stone, Gould, Piazzi Smyth et plus récemment de Körpens, qui tous ont établi que la température terrestre moyenne est légèrement plus élevée les années de minima que lors des maxima des taches.

» Toutes les particularités de la couronne s'expliquent alors facilement :

» *a*. La pression de radiation ou force de Maxwell-Bartoli doit être le principal agent de la répulsion loin du Soleil des filaments de corpuscules incandescents de la couronne; comme l'énergie de la radiation solaire est diminuée lors d'un maximum des taches, la pression de radiation qui lui est proportionnelle doit l'être parallèlement et les filaments doivent être moins étendus, ce qui est bien conforme aux faits observés.

» *b*. D'autre part, il résulte de la proposition démontrée ci-dessus que le rayonnement électromagnétique du Soleil doit être augmenté lors d'un maximum des taches. L'incandescence de la partie gazeuse de la couronne ne peut être attribuée à la chaleur du Soleil, puisque cette incandescence a sa plus grande étendue et sa plus grande intensité précisément quand le Soleil rayonne le moins de chaleur. Les plus récentes recherches sur l'émission des gaz ont d'ailleurs montré que, aux plus hautes températures qu'on ait pu réaliser, les gaz sont incapables d'émettre un spectre de raies sous l'influence de la chaleur seule. L'agent physique qui rend incandescents les gaz de la couronne doit donc être d'origine électrique : ces gaz sont illuminés par les ondes hertziennes du Soleil conformément à la propriété connue de ces ondes, et cette illumination doit donc être la plus intense lors du maximum des taches, puisqu'à ce moment ces ondes ont leur plus grande intensité. Ceci rend parfaitement compte des phénomènes observés.

» La pression de radiation produite par les ondes hertziennes est d'ailleurs négligeable, les ondes hertziennes les plus courtes que l'on connaisse ayant une longueur d'onde notablement supérieure au diamètre que le calcul permet d'attribuer aux corpuscules incandescents des filaments de la couronne.

» II. Le spectre des comètes a fait l'objet de travaux étendus de divers astronomes et surtout de Vogel et de Hasselberg. Ces travaux ont nettement établi les faits suivants :

» 1° En outre du spectre continu que donne le noyau des comètes et qui est dû, en partie, à de la lumière solaire réfléchie et, en partie, à l'incandescence propre du noyau, les comètes donnent toutes un spectre de bandes qui est dû à un mélange gazeux (incandescent d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures;

» 2° Les expériences de laboratoire faites pour produire artificiellement un spectre identique au spectre cométaire ont toutes établi : que les gaz incandescents des comètes sont à une température relativement basse (ce qui écarte l'idée d'une émission produite par la chaleur); que ce spectre gazeux est identique à celui que produit une décharge disruptive à basse température et est différent des spectres que produisent soit une décharge continue, soit une combustion;

« 3° Ce spectre gazeux se modifie quand la comète approche du soleil, comme se modifie le spectre artificiel produit dans les conditions ci-dessus, quand on augmente l'intensité de la décharge disruptive (ce qui prouve que l'agent de l'incandescence gazeuse des comètes émane du soleil).

« Or les travaux d'Ebert et Wiedmann ont précisément établi que les phénomènes de luminescence des gaz produits par les ondes hertziennes ont tous les caractères des phénomènes que produisent, à basse température, les décharges disruptives.

***Sur la recombinaison des ions dans les gaz,*** par **P. Langevin**. *Comptes-rendus*, t. CXXXIV, p. 533-536.

Dans une Note antérieure (¹), l'auteur donnait le principe de la méthode qui lui a permis de mesurer directement le rapport $\varepsilon = \frac{\alpha}{4\pi(k_1 + k_2)}$, où $\alpha$ représente le *coefficient de recombinaison* des ions positifs et négatifs, $k_1$ et $k_2$ les *mobilités* de ces ions dans un champ électrique. Il indiquait également que $\varepsilon$ représente le rapport du nombre des recombinaisons au nombre des collisions entre des ions de signes contraires, et doit, par suite rester toujours inférieur à l'unité. Dans cette nouvelle note, il donne les résultats d'expériences faites en vue de vérifier quelques conséquences théoriques (²).

« Dans ces conditions, on voit facilement que la proposition énoncée au début de cette note permet d'expliquer toutes les particularités des spectres cométaires.

« Cette proposition a, jusqu'à un certain point, le caractère d'une hypothèse, mais elle est logiquement déduite de la théories électromagnétique de la lumière et de l'étude spectrale du soleil ; elle n'est contredite par aucun fait; elle rend compte de tout un ensemble de phénomènes différents et inexpliqués. Il semble donc qu'elle ait tous les caractères nécessaires pour être valable ».

(¹) *L'Écl. Élect.*, t. XXX, p. 370, 8 mars 1902.

(²) « I. — La méthode expérimentale consiste à créer un champ uniforme dans le gaz compris entre deux lames métalliques parallèles et à déterminer : 1° la quantité d'électricité $\sigma$ induite sur l'une de ces lames au moment de la création du champ ; 2° la quantité d'électricité Q recueillie par cette lame après le passage dans le gaz des rayons de Röntgen provenant d'une *seule décharge* dans un tube de Crookes ; 3° la quantité d'électricité $Q_0$ libérée dans le gaz par la radiation et que l'on recueillerait dans un champ infini : la différence entre Q et $Q_0$ étant due à la recombinaison des ions.

« La théorie indique entre ces quantités la relation suivante, *indépendante de la répartition initiale de l'ionisation* dans le gaz,

$$(1) \qquad \frac{\varepsilon Q}{\sigma} = \log\left(1 + \frac{\varepsilon Q_0}{\sigma}\right)$$

» La quantité $Q_0$ ne pouvant être obtenue directement, j'ai mesuré les quantités Q et Q' recueillies dans deux champs différents produits par les charges $\sigma$ et $\sigma' = m\sigma$. La valeur de $\varepsilon$ résulte de l'élimination de $x$ entre les équations

$$\frac{\varepsilon Q}{\sigma} = \log(1 + x), \qquad \frac{\varepsilon Q'}{\sigma'} = \log\left(1 + \frac{x}{m}\right).$$

» Un procédé graphique simple permet d'effectuer rapidement cette opération. Les quantités Q, Q', $\sigma$, $\sigma'$ figurant par leurs rapports, aucune mesure absolue n'est nécessaire.

» La relation (1) suppose la quantité $Q_0$ assez petite par rapport à $\sigma$ pour que la présence des ions dans le gaz ne modifie pas sensiblement le champ. Un calcul tenant compte de cette modification donne, pour l'erreur relative qui en résulte sur la mesure de $\varepsilon$, une valeur inférieure à $\frac{Q_0}{24\sigma}$ dans le cas d'une répartition initiale uniforme. La correction reste donc inférieure au centième tant que $Q_0$ ne dépasse pas $\frac{\sigma}{4}$.

» II. Les quantités $Q_0$ libérées par deux décharges consécutives dans un tube de Crookes n'étant jamais identiques, même après qu'on a supprimé complètement, ainsi que j'ai réussi à le faire, l'étincelle de rupture du primaire de la bobine, j'ai dû mesurer sur une *même décharge* les quantités Q et Q', ou plutôt Q et Q' — Q, car l'erreur relative sur $\varepsilon$ est sensiblement l'erreur relative sur Q' — Q, et il importait de mesurer directement cette quantité par une méthode différentielle.

» Enfin, la différence Q' — Q étant toujours petite par rapport à Q (inférieure au dixième) et plus encore par rapport à $\sigma$, il m'a fallu augmenter la sensibilité en passant de la mesure de Q et $\sigma$ à celle de Q' — Q.

» III. Ces conditions sont réalisées par la disposition suivante :

» Deux appareils ABCD, A'B'C'D' (*fig. a*) reçoivent simultanément les rayons de Röntgen provenant du tube de Crookes T. Les lames métalliques AB, A'B', entourées d'anneaux de garde, peuvent être reliées à l'électromètre E par l'intermédiaire de condensateurs à capacité variable LM, L'M' destinés à faire varier la sensibilité.

» Chacun de ces condensateurs est constitué par un système de lames parallèles L soigneusement isolé, dans lequel peut venir s'emboîter, sans le toucher, un système semblable M relié à l'enceinte métallique générale S, et mobile perpendiculairement au plan de la figure sur deux glissières GG. On peut, de l'extérieur, éloigner ou rapprocher les systèmes L et M, *ouvrir* ou *fermer* les condensateurs. Les systèmes L et L' peuvent, au moyen de leviers I manœuvrés à distance, être reliés à l'enceinte ou à l'une des paires de quadrants de l'électromètre.

» On règle d'abord la position du tube C de manière à obtenir des quantités libérées $Q_0$ identiques dans les deux appareils : les champs en ABCD, A'B'C'D' créés par les batteries P et P' étant égaux et de sens inverses, et l'électromètre étant relié à L et L', le passage de la décharge ne doit produire aucune déviation. Les deux

***La magnétostriction des aciers au nickel,*** par **H. Nagaoka** et **K. Honda**. *Comptes-rendus*, t. CXXXIV, p. 536-538.

En raison de leur anomalie de dilatation, les alliages de fer et de nickel commencent à être utilisés dans la construction des instruments de mesure. Il importe donc de connaître parfaite-

ment les causes pouvant modifier leurs dimensions, en particulier l'influence du magnétisme.

Les recherches des auteurs ont montré que les changements de longueur dans les champs auxquels les instruments de mesure peuvent être soumis, sont assez faibles pour qu'il n'y ait pas lieu d'en tenir compte ; mais que, d'autre part, ils ne suivent en aucune façon la loi des mélanges, et sont beaucoup plus considérables que ceux du fer ou du nickel pris isolément.

Les échantillons sur lesquels ont porté ces recherches consistaient en fils de divers diamètres, ou en ovoïdes allongés, de 1 cm d'épaisseur maxima et de 20 cm de longueur. Ils étaient soumis au champ magnétique produit par une bobine dont les constantes sont les suivantes : longueur, 30 cm ; diamètre, 3,2 cm ; résistance, 0,56 ohm, $4\pi n = 379,7$. La bobine était enfermée dans une enveloppe à circulation d'eau ; l'échauffement par le courant était, d'ailleurs, extrêmement faible, en raison de la faible résistance de la bobine, excepté pour des champs supérieurs à 1 000 gauss environ.

*Variations de longueur.* — Ces variations étaient observées à l'aide d'un dispositif optique donnant une grande amplification.

Pour les champs avec lesquels nous avons opéré, et qui ont atteint 1 800 gauss, l'amplitude des variations suit l'ordre des perméabilités magnétiques. L'alliage à 25 p. 100 de nickel, qui n'est pas sensiblement magnétique, ne nous a donné aucune variation appréciable. L'alliage à 29 p. 100, qui est sensiblement magnétique, varie graduellement avec le champ ; l'alliage à 46 p. 100, qui est fortement magnétique, varie d'abord rapidement, mais s'approche bientôt d'une valeur limite, de l'ordre de 25 millionièmes de la longueur initiale. L'alliage à 36 p. 100 possède des propriétés intermédiaires. Les variations sont positives, alors qu'elles sont négatives dans le nickel, et que, dans le fer, elles sont d'abord faiblement positives, puis négatives.

Dans les champs de l'ordre du champ terrestre, les changements sont inférieurs au dix-millionième.

*Variations de volume.* — L'ovoïde à étudier était enfermé dans un réservoir de verre scellé

---

lames AB et A'B' recueillent alors des quantités égales et de signes contraires Q'.

» Le champ restant fixe dans A'B'C'D', on le diminue dans ABCD.

« *a*. Les deux condensateurs LM, L'M' sont *fermés* ; L est relié à l'électromètre, L' est isolé. On fait passer la décharge : l'élongation de l'électromètre est proportionnelle à Q.

» *b*. Cette élongation lue, on met l'électromètre en communication avec L' et l'on *ouvre* les condensateurs pour diminuer la capacité du système LEL' qui porte maintenant Q' — Q. Deux élongations successives donnent la déviation proportionnelle à Q' — Q. Le rapport des sensibilités dans les mesures de Q et Q' — Q est déterminé à l'avance.

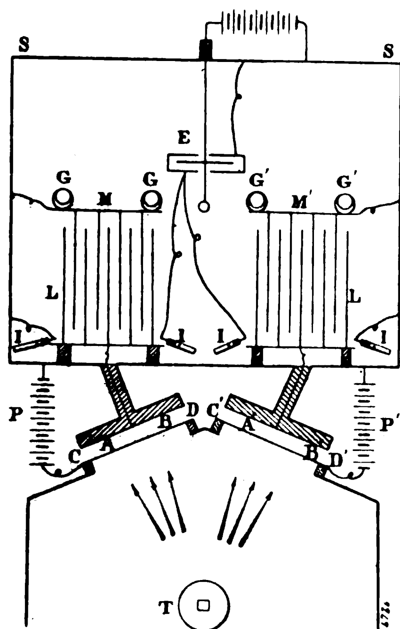



Fig. *a*.

» *c*. Pour mesurer σ, on revient à la position (*a*) et l'on supprime le champ en reliant directement CD à l'enceinte S. La quantité σ se répartit sur le système LE et l'élongation lue lui est proportionnelle. σ' se mesure de la même manière.

» IV. *Résultats*. — Bien que j'aie fait varier dans de larges limites l'épaisseur de la lame de gaz, le champ, la répartition et l'intensité de l'ionisation, les valeurs obtenues pour ε dans l'air sec sous la pression atmosphérique à 17° sont restées comprises entre 0,26 et 0,28. La valeur moyenne 0,27 coïncide avec celle qu'on peut déduire d'une détermination du *coefficient de recombinaison* α faite par M. Townsend (Townsend, *Phil. Trans.*, A. 242, p. 157 ; 1899) à l'aide d'une méthode entièrement différente.

» Il y a donc dans l'air, sous la pression normale *une recombinaison* sur *quatre collisions* entre des ions de signes contraires.

» Le rapport ε tend vers *l'unité* quand la pression augmente.

qu'on achevait de remplir avec de l'eau distillée. On observait les variations de volume par les déplacements du ménisque dans un tube de 0,4 mm de diamètre.

Les variations trouvées pour tous les échantillons sont sensiblement proportionnelles au champ ; pour 1700 gauss, elles sont respectivement de 51, 24 et 4 millionièmes pour les alliages à 29, 39 et 46 p. 100 de nickel, les plus fortes variations correspondant ainsi à la plus faible perméabilité magnétique. L'acier ordinaire ne donne qu'une variation de 1 millionième, et l'alliage à 25 p. 100 un changement encore beaucoup plus faible.

On remarquera que la dilatation thermique intervient très peu dans les phénomènes que nous étudions, puisque l'alliage à 36 p. 100, qui se dilate environ dix fois moins que ceux à 29 ou à 46, éprouve des variations intermédiaires sous l'action du champ magnétique.

Les recherches montrent qu'il existe, au-delà de 25 p. 100, et probablement un peu au-dessous de 29 p. 100, un alliage à variation maxima.

*Effet Wiedemann.* — La torsion occasionnée par l'effet simultané d'un champ longitudinal et d'un champ circulaire produit par un courant parcourant le fil était déterminée à l'aide d'un miroir fixé à la partie inférieure d'un fil de 21 cm, suspendu dans la bobine. Le sens des variations observées, pour les alliages à 23, 39 et 45 p. 100 est le même que pour le fer, c'est-à-dire que, pour un courant descendant et un pôle nord situé au sommet de la bobine, les rotations vues d'en haut se produisent dans le sens contraire du mouvement des aiguilles d'une montre. Pour un même courant, les champs faibles produisent une rotation qui va rapidement en croissant, passe par un maximum et décroît ensuite lentement.

*Fils sous traction.* — Des expériences faites par l'un des auteurs (M. Honda), avec la collaboration de M. Shunizu, ont montré que les variations de longueur produites par le magnétisme dans des fils d'acier-nickel soumis à une traction longitudinale diminuent à mesure que la traction augmente. Pour des charges telles que l'on approche de la limite élastique, on observe une contraction dans les champs faibles et un allongement dans les champs intenses. Le caractère de ces variations est semblable à celui que l'on observe dans le cobalt.

***Remarques sur les recherches de MM. Nagaoka et Honda***, par **Ch.-Ed. Guillaume**. *Comptes-rendus*, t. CXXXIV, p. 538-539.

L'auteur présente sur ces recherches deux ordres de remarques. Les premières se rapportent à l'interprétation des mesures ; les autres, aux conclusions que l'on déduit pour la théorie de ces alliages [1].

---

[1] « La petitesse des variations observées autoriserait à penser que les résultats ont pu en être affectés d'une façon appréciable par des phénomènes purement thermiques. L'application du principe de Carnot aux corps dont la susceptibilité magnétique est variable avec la température montre, en effet, que pour ces corps tout changement positif du champ magnétisant doit être accompagné d'une élévation de la température.

» Toutefois, une discussion serrée des résultats, faite en tenant compte à la fois de l'ordre de grandeur des changements thermiques et de la dilatibilité très diverse de ces alliages, conduit à penser que, si les mesures avaient été sensiblement faussées par des variations de la température, les nombres fournis par l'expérience devraient avoir une tout autre allure. Je supposerai donc, dans ce qui suit, que les changements observés par MM. Nagaoka et Honda sont dus en entier à des actions magnétiques.

» La magnétostriction semblait devoir fournir immédiatement un moyen de décider entre les diverses théories émises pour expliquer les singulières anomalies des alliages de fer et de nickel. Les changements produits par des champs de moyenne intensité étant positifs dans le fer et négatifs dans le nickel, il semblait que l'on pourrait indiquer sûrement, par la nature des variations de leurs alliages, la cause des propriétés magnétiques de ceux-ci.

« Parmi les théories des transformations des alliages de fer et de nickel, la plus récente, émise par M. L. Dumas, semble être aussi celle qui serre de plus près les phénomènes observés. Partant de nombreuse expériences personnelles, M. Dumas a été conduit à admettre que, dans les ferro-nickels à faible teneur en nickel, le magnétisme appartient exclusivement au fer et s'élimine peu à peu, par abaissement irréversible, dans l'échelle des températures, de la région de transformation. Au contraire, dans les hautes teneurs, le magnétisme, de nature réversible, c'est-à-dire non doué d'hystérèse, appartiendrait uniquement au nikel. Ainsi, dans tous les alliages magnétiques à la température ordinaire, et dont la teneur est supérieure à 25 p. 100 de nickel, on devrait retrouver la plupart des qualités magnétiques du nickel pur, simplement atténuées.

» L'inspection des résultats de MM. Nagaoka et Honda est, à première vue, très décevante, et la conclusion immédiate semblerait devoir être le rejet de la théorie de M. Dumas, les variations observées dans les alliages réversibles étant positives, alors qu'elles sont négatives dans le nickel. Cependant, cette théorie est si satisfaisante à d'autres égards qu'il convient de rechercher si, même au prix d'une nouvelle hypothèse, il n'est pas possible

***Emploi de l'arc électrique au fer, en photothérapie,*** par **André Broca** et **Alfred Chatin**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 562-564.

Depuis quelques mois, des essais ont été faits pour appliquer à la photothérapie l'arc électrique au fer (Bang, Strebel, Muller, Drossbach). M. Broca, en collaboration avec M. Pellin, est arrivé à réaliser cet arc commodément et avec une très grande puissance. Les arcs obtenus sont parfaitement stables à des régimes compris entre 12 et 35 ampères, sous un voltage variant de 32 à 45 volts, et peuvent se produire avec des régulateurs automatiques ou des régulateurs ordinaires.

Le premier point remarquable est que le cratère positif est fort peu éclatant, fait déjà connu depuis longtemps, et que le foyer de radiation est constitué essentiellement par les vapeurs incandescentes. Quand on place la main à 10 cm de cette source, on n'éprouve pas de sensation de chaleur pénible, alors qu'il est impossible de la maintenir à cette distance d'un arc ordinaire de même puissance. Les effets actiniques sont, au contraire, extrêmement intenses. Le papier photographique au citrate d'argent pour le tirage des positifs est réduit au rouge très foncé en 5 secondes à 10 cm de l'arc [1].

Les auteurs ont pensé qu'il serait utile d'appliquer ces moyens puissants à la photothérapie, instituée il y a quelques années par Finsen. La grande diminution de la chaleur rayonnée et l'augmentation de la puissance actinique nous ont, en effet, permis de simplifier beaucoup les appareils et d'obtenir des réactions cutanées très intenses. La méthode employée et les résultats obtenus sont décrits dans la note.

*Séance du 10 mars 1902.*

***Théorie électromagnétique des aurores boréales et des variations et perturbations du magnétisme terrestre,*** par **Charles Nordmann**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 591-594.

Cette théorie est basée sur l'hypothèse de l'émission d'ondes hertziennes par le soleil, hypothèse présentée dans la communication du 3 mars. Nous indiquons en note [1] les considérations développées par l'auteur.

---

de la mettre d'accord avec les résultats de l'observation.

» L'hypothèse suffisante pour établir cet accord peut paraître bien naturelle. J'ai montré autrefois qu'il existe des relations très étroites entre les variations magnétiques et les changements de volume des ferro-nickels, toute augmentation de la susceptibilité étant accompagnée d'une augmentation du volume moléculaire. En général, l'augmentation des propriétés magnétiques, due à une transformation moléculaire, se produit par l'abaissement de la température, mais peut être engendrée aussi par tout effort mécanique. Supposons que, sous l'action d'un champ magnétique, l'état de transformation puisse aussi être augmenté à température constante ; on devra observer une augmentation du volume, conformément aux résultats obtenus par MM. Nagaoka et Honda.

» On devra s'attendre aussi à ce que le changement magnétique soit d'autant plus intense que l'on se trouvera plus près de la région de rapide transformation. La variation de volume devra alors être maxima pour les alliages contenant de 28 à 30 p. 100 de nickel ; c'est ce qu'a montré l'expérience.

» Les recherches devront être poursuivies sur les alliages irréversibles à facile transformation à la température ordinaire, ou sur les réversibles, que l'on amènera, par une variation de leur température, à des distances diverses du début de leur transformation. »

(1) Nous avons pu vérifier ce résultat en opérant avec une paire de charbons mis obligeamment à notre disposition par M. Pellin. Le négatif est un charbon à âme ordinaire ; le positif est à âme en carbure de fer ; nous opérions avec une intensité de courant de 8 ampères environ. Le papier au citrate d'argent était noirci cinq à six fois plus rapidement qu'avec un arc avec charbons ordinaires, la distance étant la même dans les deux cas. Bien que nous ayons constaté une absorption considérable par le verre et le papier calque des rayons actiniques émis par l'arc au fer, nous pensons que l'emploi de ces arcs permettrait de réduire considérablement le temps de pose nécessaire pour la reproduction photographique des dessins industriels par le ferrocyanure. Une autre application de l'arc au fer également possible est l'*insolation* du bitume de Judée dans la confection des clichés par photogravure. J. B.

(1) « I. Les dernières recherches (et notamment celles de M. Paulsen) sur les aurores boréales ont montré qu'il y a un accord intime entre le spectre de l'aurore boréale et celui de la lumière qui entoure la cathode d'un tube contenant de l'oxygène et de l'azote. Voir notamment *Congrès de Physique*, t. III, p. 438 à 445. Il en résulte que l'aurore boréale serait un phénomène cathodique se produisant dans l'atmosphère supérieure raréfiée. L'orientation particulière des rayons de l'aurore boréale, le fait que les aurores boréales sont plus intenses et fréquentes quand on s'éloigne de l'équateur, et divers autres caractères de l'aurore s'expliqueraient alors facilement, comme on l'a déjà montré, par suite de la propriété connue qu'ont les rayons cathodiques de s'orienter suivant les lignes de force d'un champ magnétique. Cette explication n'offrait qu'une difficulté : quelle est l'origine des phénomènes cathodiques qui forment l'aurore boréale ? La proposition établie dans ma dernière communication va me permettre de résoudre cette question.

***Remarques sur une note récente de MM. Nagoaka et Honda, relative à la magnétostriction des aciers au nickel*, par F. Osmond,** *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 596-598.

M. Ch.-Ed. Guillaume a fait remarquer que les résultats des savants japonais semblent contredire la théorie de M. Dumas. M. Osmond fait observer que la théorie de M. Dumas, qui attribue exclusivement au fer seul ou au nickel seul le magnétisme respectif des aciers irréversibles ou réversibles, est déjà, sous cette forme, en opposition en ce qui concerne les aciers réversibles, avec deux faits d'expérience :

1° La dilatation presque nulle, à la température ordinaire, de certains échantillons découverts et étudiés par M. Guillaume, ne peut guère s'expliquer que par la superposition de deux phénomènes opposés, à savoir le retrait (ou la dilatation) habituels à tous les corps et la dilatation (ou le retrait) résultant de la trans-

---

« Les travaux de MM. Ébert et Wiedmann ont montré que, sous l'action des ondes hertziennes, un tube contenant un gaz suffisamment raréfié s'illumine, et que les phénomènes lumineux produits ainsi dans ce tube (que celui-ci soit ou non muni d'électrodes) sont précisément identiques aux phénomènes cathodiques des tubes de Geissler. Je pense donc que les aurores boréales sont des phénomènes cathodiques produits dans l'atmosphère par les ondes hertziennes émanées du soleil, conformément aux propriétés connues de ces ondes.

« Les diverses périodes des aurores boréales s'expliquent alors facilement : la période undécennale des aurores qui concorde exactement avec la période des taches solaires, de telle sorte que la plus grande fréquence des aurores a lieu lors de la plus grande fréquence des taches, provient de ce que (comme je l'ai montré) les ondes hertziennes émises par le soleil doivent être le plus intenses lors du maximum des taches ; les aurores qui sont produites par ces ondes doivent donc être plus intenses et plus nombreuses à cette époque. La période des aurores qui semble correspondre à la période de rotation synodique du Soleil s'explique aussi facilement par ma théorie : les régions de l'activité maxima de la surface solaire, c'est-à-dire de l'émission des ondes hertziennes les plus intenses, exécutant une rotation complète en vingt-six jours environ, il s'ensuit naturellement que les aurores boréales doivent avoir une période identique. Ma théorie explique également la période diurne des aurores : le maximum de la production des aurores correspond au maximum du rayonnement solaire en un lieu donné, c'est-à-dire au passage du Soleil au méridien ; mais l'éclat du jour masque à ce moment les aurores boréales et le maximum apparent des aurores doit se produire dans les premières heures de la soirée. C'est bien ce qu'on observe.

» M. Arrhénius a également donné récemment une explication de ces divers phénomènes, en partant de l'hypothèse que le Soleil émet des particules négativement chargées qui arrivent dans cet état jusqu'à la terre. Je me propose de présenter prochainement quelques objections que me paraît soulever la théorie de M. Arrhénius (les limites de cette note ne me permettent pas de le faire aujourd'hui).

» II. On sait que les oscillations de l'aiguille aimantée ont une période undécennale qui, de même que celles des aurores boréales, est exactement parallèle à la période des taches solaires. Il semble donc que la cause des aurores polaires doit également être l'origine des variations du magnétisme terrestre. D'autre part, on admet universellement que l'intensité du magnétisme terrestre et les variations de cette intensité sont en relation intime avec les courants électriques généraux de l'atmosphère, qui, sous l'influence de l'induction unipolaire, de la vaporisation, etc., se produisent principalement dans les couches supérieures raréfiées, et, comme telles, relativement bonnes conductrices. Enfin, M. Righi a montré en 1897 que sous l'influence des ondes hertziennes la conductibilité d'un tube à gaz raréfié est notablement augmentée. Ce tube se comporte donc comme une sorte de cohéreur.

» Ma théorie explique alors facilement la période undécennale du magnétisme terrestre : lors du maximum des taches, les ondes hertziennes solaires plus intenses produisent une diminution relativement grande de la résistance de l'atmosphère supérieure : il doit s'ensuivre une augmentation de l'intensité de courants électriques de l'atmosphère et, corrélativement, en vertu des lois de l'électromagnétisme, une augmentation de l'intensité du magnétisme terrestre, ce qui rend bien compte des phénomènes observés.

» III. A un autre point de vue, si l'on considère les aurores boréales et les variations du magnétisme terrestre, non plus dans leur généralité périodique, mais lorsqu'ils se produisent d'une manière accidentelle et instantanée, ma théorie explique également les faits observés. Depuis la célèbre observation de Carrington en 1859, les exemples se sont multipliés d'orages magnétiques accompagnés d'aurores boréales se produisant d'une manière synchrone avec une violente perturbation d'une tache solaire (révélée au spectroscope). L'explication de ces faits est facile à l'aide des considérations exposées plus haut et du fait démontré précédemment que les perturbations solaires doivent produire une émission intense d'ondes hertziennes. Mais il est un caractère de ces phénomènes accidentels qui me paraît fournir un argument d'une importance particulière pour ma théorie : dès 1883, Young a déduit du fait observé par Carrington, et d'un certain nombre d'exemples observés par lui-même, que chaque perturbation importante de la surface solaire se transmet à notre magnétisme terrestre avec la vitesse de la lumière. *Or telle est précisément la vitesse des ondes hertziennes.*

» Il semble que la théorie de M. Arrhénius ne permet pas d'expliquer ces faits, car les vitesses les plus grandes que cette théorie permet d'attribuer aux particules émanées du Soleil sont bien inférieures à la vitesse de la lumière. »

formation graduelle, dans le même intervalle de température, du fer $\gamma$ en fer $\alpha$ (ou réciproquement).

2° La puissance magnétique des alliages réversibles est beaucoup trop grande pour être attribuable au nickel seul. Ce fait avait été remarqué déjà par Hopkinson à propos d'un alliage à 73 ou 75 p. 100 de nickel (1). M. Osmond l'a confirmé en étudiant, à ce point de vue, les échantillons qui ont fait le sujet d'une note à l'Académie du 30 janvier 1899 (2).

*Séance du 17 mars 1902*

***Sur la mobilité des ions dans les gaz***, par **P. Langevin**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 646-649.

L'auteur indique une méthode plus directe que celle décrite dans sa communication du 3 mars, pour mesurer les mobilités des ions. En voici le principe :

On constitue un condensateur au moyen d'une lame d'aluminium et d'une seconde lame parallèle métallique A. Un faisceau de rayons Rœntgen, produits par *une seule décharge* d'une bobine dans un tube de Crookes, traverse la lame d'aluminium. Le gaz compris entre ces lames est ionisé, tant par ces rayons que par les rayons secondaires émis par la face interne de la lame d'aluminium, traversée par les rayons Roentgen et par la face interne de la lame métallique A, qui transforme ceux-ci. Sous l'influence du champ électrique H, existant entre les deux armatures, les ions positifs se déplacent dans le sens du champ (vers les lames A) avec une vitesse $k_1H$ ; les ions négatifs se déplacent vers l'autre lame avec une vitesse $k_2H$ (en général $k_2 > k_1$). Si on renverse le champ à un instant $t$, après le passage de la radiation, la lame A reçoit la charge des ions positifs compris dans une couche d'épaisseur $k_1 Ht$, puis la charge des ions négatifs compris dans une couche $d - k_2Ht$ (où $d$ désigne la distance des armatures), ces ions rétrogradant vers la lame A, après le renversement du champ. Dans l'hypothèse d'une ionisation uniforme du gaz, la lame A reçoit donc pendant le temps $t$, une charge $k$, proportionnelle à $k_1Ht - d + k_2Ht$, tant que $t$ est inférieur à $t_2 = \frac{d}{k_2 d}$. En portant les temps en abscisses et les quantités d'électricité en ordonnées, on obtient une droite. A partir de l'instant $t_2$, la quantité d'électricité recueillie par la lame A, croît moins rapidement avec le temps, car à partir de cet instant, le binôme $d - k_2Ht$ disparaît de l'expression précédente ; il y a donc un coude dans la ligne représentative. Quand $t = \frac{d}{k_1 H}$, un nouveau coude se produit, quand tous les ions libérés ont été recueillis, soit par la lame A, soit par la lame d'aluminium, et par suite, ce renversement ne produit aucun effet.

L'auteur a déterminé expérimentalement la

(1) *Proc. Inst. Civ. Eng.*, t. CXXVI, 1895-1896, part. IV, p. 71 du tirage à part du travail de M. H. Parshall, intitulé : *Magnetic Data of Iron and Steel*.

(2) « Si l'on se reporte au tableau publié dans cette note, on voit que, dans les aciers irréversibles, la teneur en nickel croissant, la force portante trouvée devient de plus en plus inférieure à la force portante calculée, jusqu'à devenir nulle pour 26,20 de Ni ; les transformations ne sont pas commencées à la température ordinaire pour ce dernier échantillon et, pour les précédents, elles étaient d'autant plus incomplètes que la teneur en nickel était plus élevée.

» Les aciers réversibles se divisent en trois classes : de 29,07 jusqu'à une teneur comprise entre 35,70 et 43,04, la force portante calculée est supérieure à la force portante trouvée, d'où l'on peut conclure que, ici encore, les transformations sont incomplètes à la température ordinaire, comme l'avait d'ailleurs prouvé M. Dumont ; de 43,04 à 76,75, on observe le fait inverse ; au-dessus de 88,95, la force portante calculée redevient un peu supérieure à la force portante trouvée, ce qui coïncide avec un retour d'hystérèse.

» En somme, pour les aciers réversibles non affectés d'hystérèse et dont les transformations sont terminées à la température ordinaire, les choses, en tenant compte des causes d'erreur, se passent à peu près comme si l'on avait affaire à de simples mélanges de fer et de nickel. Or, sur les trois échantillons étudiés par MM. Nagaoka et Honda, il y en a deux (29 et 36 de nickel) pour lesquels les transformations sont certainement loin d'être terminées à la température ordinaire et, pour le troisième (46 de Ni), l'achèvement des tranformations n'est probablement pas encore total, mes barrettes à 43,04 et même à 49,45 montrant encore une force coercitive notable. Je suis donc tout à fait d'accord avec M. Guillaume sur l'interprétation des faits observés dans l'étude de la magnétostriction. Pour tirer de ces recherches des renseignements sur la théorie des alliages réversibles, il faudrait étendre les expériences sur les types à haute teneur en nickel, c'est-à-dire jusqu'à 80 ou 90 p. 100. On déciderait peut-être ainsi la question de savoir si ces alliages sont des cristaux mixtes de fer et de nickel, ou s'il existe un composé $Ni^2Fe$ dont l'existence n'est pas impossible, en raison du maximum de la courbe des points de transformation. »

variation de la charge de la lame A, en fonction du temps. Représentée graphiquement, cette variation a donné une ligne différant un peu de la ligne brisée théorique, la divergence provenant de la combinaison des ions; mais les deux coudes étaient assez nettement accusés pour qu'on puisse déterminer les instants correspondants $t_1$ et $t_2$, et par suite, le rapport des mobilités $k_1$ et $k_2$.

***Recherche d'une unité de mesure pour la force de pénétration des rayons X et pour leur quantité,*** par **G. Contremoulins**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 649-651.

Devant un écran au platinocyanure de baryum, recevant les rayons X provenant de l'ampoule, est placé un écran opaque percé de trois fenêtres. La fenêtre centrale est fermée par la face dépolie d'un prisme à réflexion totale qui reçoit la lumière d'une flamme d'acétylène devant laquelle est disposé un diaphragme à surface variable, permettant de faire varier l'éclairement de la surface dépolie. L'une des deux autres fenêtres est munie d'un verre neutre. En arrière de la dernière fenêtre, et entre le tube de Crookes et l'écran au platinocyanure est interposé un disque formé de secteurs d'aluminium, d'épaisseurs croissantes. L'éclairement de la première fenêtre sert de terme de comparaison; en faisant varier l'intensité du courant dans la bobine alimentant le tube de Crookes, on amène l'éclairement de la seconde fenêtre à être égal à celui de la première. Ensuite, on fait varier la résistance du tube (qui doit être à résistance réglable) de manière à amener l'éclairement de la troisième, pour un secteur interposé d'épaisseur déterminée, à être égal à celui de la première. On parvient ainsi à avoir un faisceau de rayons X, ayant une intensité et un pouvoir de pénétration évaluables par des chiffres, et pouvant par conséquent être reproduite à volonté.

*Séance du 24 mars 1902.*

***Oscillations propres des réseaux de distribution électrique,*** par **J.-B. Pomey**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 696-697.

Cette note est le résumé d'un article qui paraîtra prochainement dans ce journal.

***Des forces qui agissent sur le flux cathodique placé dans un champ magnétique,*** par **H. Pellat.** *Comptes rendus*, t. CXXXIV. p. 397-700.

Dans une note récente (1) l'auteur signalait que le flux cathodique ordinaire (flux A) placé dans un champ magnétique intense dessine le tube de force magnétique ayant pour base cette cathode. Il a appris depuis que M. Aimé Witz est probablement le premier auteur qui ait signalé que les rayons cathodiques suivaient les lignes de force d'un champ magnétique intense, sans indiquer toutefois que l'ensemble forme un tube de force homogène (2), ce qui distingue le phénomène de celui présenté par d'autres rayons qui suivent aussi les lignes de force, mais qui, partant des bords des électrodes d'une façon irrégulière, ne dessinent nullement le tube ayant pour base l'électrode.

M. Pellat fait ensuite remarquer que, le flux cathodique dans un champ magnétique faible étant dévié par la force électromagnétique perpendiculairement aux lignes de force, on peut supposer que le phénomène, dans lequel le flux cathodique forme un tube de force à parois parfaitement nettes dans un champ intense, est dû à ce que ces rayons s'enroulent autour des lignes de force par suite de la force électromagnétique, et que ces spires, très voisines de l'axe, dessinent grossièrement cet axe lui-même. Le but de cette note est de montrer que cette explication est inexacte, et qu'il existe une cause qui tend à diriger les rayons cathodiques suivant les lignes de force.

Cette cause augmente très rapidement avec l'intensité du champ, de façon que, si l'action de la force électromagnétique est prépondérante dans les champs faibles, elle commande complètement le phénomène dans les champs forts, masquant l'effet de la force électromagnétique. C'est pour cela qu'avec des pressions voisines de $0^{mm},5$ de mercure et des champs ne descendant pas au-dessous de 300 unités, que le champ soit fort ou faible, le flux cathodique forme toujours le tube de force, comme il a été dit dans

(1) *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 367, 8 mars 1902.

(2) Aimé Witz, exploration du champ magnétique par les tubes à gaz raréfiés. (*Comptes rendus*, t. CX, 1890, p. 1002).

la dernière note, et paraît insensible à l'action de la force électromagnétique [1].

Quelle peut être cette cause, indépendante du sens du champ, augmentant rapidement avec l'intensité de celui-ci, qui dirige les rayons cathodiques dans le tube de force d'un champ magnétique intense?

Tous les phénomènes que j'ai observés jusqu'à présent, dit M. Pellat, s'expliquent bien dans l'hypothèse où la création du champ magnétique ferait naître dans l'ampoule un frottement anisotrope pour les particules constituant les rayons cathodiques : le frottement serait beaucoup plus énergique dans la direction perpendiculaire aux lignes de force que dans la direction même de ces lignes.

Voici du reste une expérience qui montre que le champ magnétique produit quelque chose d'analogue à un frottement, même dans le sens des lignes de force. Lorsque la pression est assez forte pour que les rayons cathodiques n'atteignent pas l'extrémité de l'ampoule en l'absence du champ, en produisant celui-ci, les rayons cathodiques se resserrent de toute part autour de la cathode, beaucoup plus dans la direction perpendiculaire aux lignes de force que suivant le sens de ces lignes; mais, même dans ce sens, le flux cathodique s'éloigne moins de la cathode qu'en l'absence du champ. En outre, si l'on augmente l'intensité de celui-ci, la portion du tube de force dessinée par les rayons cathodiques se raccourcit.

Comme le dessin du tube de force par ces rayons est aussi net dans un champ uniforme que dans un champ qui ne l'est pas, on ne saurait attribuer ces frottements à des courants de Foucault qui se développeraient à l'intérieur des particules mobiles constituant le flux cathodique, supposées conductrices.

[1] « Les expériences qui mettent hors de doute ce que je viens d'indiquer ont été faites, entre autres, avec une ampoule cylindrique ayant 3 cm de diamètre, pourvue de deux électrodes en aluminium, l'une formant un plateau carré, l'autre un disque circulaire, ayant chacune environ 1 cm² de surface, placées en face l'une de l'autre à 2 cm, perpendiculairement à l'axe horizontal du tube, et centrées sur cet axe. Devant l'électrode carrée, prise le plus souvent comme cathode, est placée verticalement une petite tige de verre portant en face du milieu de l'électrode un disque de verre de 5 mm de diamètre, percé d'un trou destiné à délimiter un pinceau de rayons cathodiques. Cette ampoule a été disposée de façon que son axe horizontal fît un angle d'environ 45° avec les lignes de force sensiblement horizontales aussi ; en laissant fixe l'ampoule, j'ai fait varier la pression du gaz depuis 0,7 mm (Geissler) jusqu'à 0,01 mm (Crookes), par degrés rapprochés, et le champ depuis 140 jusqu'à 400 unités, par la variation de l'intensité du courant dans l'électro-aimant. J'ai été ensuite jusqu'à 5000 unités, en déplaçant l'ampoule.

» Pour un champ de 140 unités, l'action observée est à peu près celle que donnerait la force électromagnétique agissant seule : le faisceau cathodique se recourbe vers le haut ou vers le bas suivant le sens du champ, de façon que son extrémité vienne frapper le verre de l'ampoule dans le voisinage du plan vertical V passant par l'axe de celle-ci.

» Si l'effet observé dans les champs intenses était dû à l'enroulement des rayons cathodiques autour des lignes de force, on devrait, quand le champ augmente progressivement à partir de 140 unités, voir l'extrémité du faisceau cathodique décrire un grand nombre de spires de plus en plus serrées, jusqu'à ce que chacun des rayons issus de la cathode simule la ligne de force autour de laquelle il s'enroule. Or, ce n'est pas du tout ce qu'on observe : le champ croissant à partir de 140 unités, on voit simplement l'extrémité du faisceau cathodique s'écarter de plus en plus du plan V, jusqu'à ce qu'il se soit placé dans un plan horizontal passant par l'axe de l'ampoule; à partir de ce moment, le faisceau cathodique dessine le tube de force, et la netteté des bords est d'autant plus grande que le champ est plus intense.

» Ainsi ce phénomène est complètement distinct de celui que M. Birkeland a observé dans des champs faibles, où la direction générale du faisceau cathodique était bien celle du champ magnétique, mais grâce à l'enroulement des rayons cathodiques sur un cône d'après l'action électro-magnétique ordinaire, comme l'a expliqué M. Henri Poincaré et comme l'ont vérifié expérimentalement MM. Wiedemann et Wehnelt.

« La parfaite continuité du phénomène que j'ai observé avec l'intensité du champ le rend distinct aussi du phénomène signalé par M. Broca, qui apparaît brusquement pour un champ d'intensité déterminée.

***Les ondes hertziennes dans les orages***, par **Firmin Larroque**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 700-701.

Dans une précédente note [1], l'auteur a fait connaître que les orages émettent des ondes électriques susceptibles de se propager à des distances énormes, et qu'il observait ces phénomènes au moyen d'une courte antenne réceptrice verticale, communiquant avec la terre, pourvue à sa partie supérieure d'un plateau métallique horizontal et interrompue en un point où était inséré un micromètre à étincelles spécial et abrité [2].

[1] *L'Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 142, 27 juillet 1901.

[2] Une faute typographique a fait dire que les étin-

En compulsant, pour la période de mai à septembre 1901, ses relevés et les cartes du temps et statistiques d'orages, M. Larroque a remarqué que, pendant les orages très éloignés, la suppression du plateau horizontal rendait le système inerte, alors que la suppression de la partie aérienne de l'antenne n'avait aucun effet sur la sensibilité de l'appareil. Les vibrations électriques étaient donc horizontales, ou du moins plus rapprochées de l'horizontalité que de la verticalité.

Si l'orage était peu distant (300 km au maximum) et en vue, l'inverse avait généralement lieu. Les vibrations électriques étaient donc verticales ou voisines de la verticalité.

Des résultats similaires peuvent être obtenus avec une ampoule à vide, pareille à celles de Crookes, mais contenant un tourniquet à une seule ailette en aluminium poli montée sur un axe en verre et équilibrée par un minuscule contrepoids également en verre. Ce tourniquet obéit à la pression des ondes électrolumineuses ou hertziennes, laquelle résulte des tensions électrostatique et électrodynamique et tend, par répulsion, à orienter l'ailette métallique parallèlement aux radiations. Cette pression est la cause principalement efficiente du fonctionnement des cohéreurs.

Les vibrations verticales sont directes. Les vibrations horizontales sont-elles diffractées, réfléchies, réfractées ou secondaires ? Pour les très longues distances, une explication basée sur la diffraction paraît insuffisante à l'auteur.

celles étaient observées *sans* grossissement : c'est *sous* grossissement qu'il fallait lire. Ne s'occupant que des orages éloignés, l'auteur n'observait que des étincelles dont la longueur variait entre 1 et 5 microns environ.

***De la radiométrie et de son application à la pulvimétrie,*** par **Th. Guilloz**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 729-732.

L'auteur indique trois procédés permettant de déterminer d'après des radiographies la position exacte d'un corps étranger dans les tissus humains.

*Séance du 1er avril 1902.*

***Dispositif d'électroscope atmosphérique enregistreur,*** par **G. Le Cadet**. *Comptes rendus*, . CXXXIV, p. 745-747.

En vue de mesures électriques que l'auteur se propose d'exécuter cet été au sommet du mont Blanc, il a cherché : 1° à réaliser un collecteur d'électricité qui soit soustrait aux difficultés qu'offre, dans cette station élevée et pour une observation de longue durée, l'emploi soit d'un écoulement d'eau, soit d'une flamme, soit d'une mèche ; 2° à obtenir l'enregistrement continu des indications de l'électroscope transportable d'Exner qui lui a servi, dans ses ascensions en ballon libre, pour déterminer la variation du champ électrique avec la hauteur.

*Collecteur d'électricité.* — D'après le rapprochement fait par MM. Elster et Geitel [1] entre les actions, sur l'air et les gaz en général, de la flamme, du phosphore et des rayons de Roentgen ou de Becquerel, M. Le Cadet a songé à employer une substance radioactive à l'extrémité d'un conducteur isolé en communication avec l'électroscope [2].

*Dispositif d'enregistrement.* — Le dispositif enregistreur adopté consiste à recevoir sur un tambour photographique horizontal, à travers une fente très fine, l'image, sombre et agrandie par un objectif, des feuilles d'aluminium de l'électroscope éclairé par derrière au moyen d'un faisceau à peu près parallèle de lumière faible [3].

[1] Elster et Geitel, Ueber die Existenz electrischer Jonen in der Atmosphäre, *Terrestrial magnetism and atmospheric electricity*, vol. IV, 1899, p. 213.

[2] « Le dispositif auquel je me suis arrêté après maints essais, avec les conseils de M. P. Curie, et au moyen duquel les courbes présentées ont été obtenues, consiste en chlorure de baryum et de radium étendu et non agglutiné dans une enveloppe en clinquant d'aluminium hermétiquement close suivant un rectangle de 5 cm × 1,5 cm et portée à l'extrémité d'une tige de laiton de 2 m de longueur isolée sur un disque de soufre tourné et poli.

» Ainsi enfermé dans une enveloppe aussi transparente que possible aux rayons de Becquerel, la substance radifère a fonctionné par le vent et la pluie sans rien perdre de son action comme collecteur. Les courbes de variations obtenues par ce procédé avec l'électroscope enregistreur sont constamment (du moins dans les limites des indications de cet instrument, soit : 50 à 250 volts) comparables dans leurs détails à celles qui ont été fournies simultanément à l'Observatoire de Lyon par l'électromètre Mascart relié à un collecteur à écoulement d'eau dont l'extrémité était au même niveau à 1,50 m de distance horizontale. Lorsque le potentiel devient négatif, pendant la pluie par exemple, l'électroscope idiostatique fournit une courbe encore comparable à celle de l'électromètre, mais de même sens qu'une variation positive, après avoir toutefois marqué la déviation minimum correspondant au zéro. »

[3] « La difficulté d'enregistrement résidait dans l'ex-

***Des méthodes propres à réaliser la radioscopie stéréoscopique,*** par **Th. Guilloz.** *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 756-757.

L'auteur décrit trois procédés qu'il a employés pour obtenir les doubles images radioscopiques servant à donner le relief par leur fusion stéréoscopique.

Le premier consiste à prendre deux tubes de Roentgen respectivement alimentés par deux bobines dont les trembleurs rotatifs isolés sont montés sur le même axe [1].

La seconde disposition comporte l'emploi d'une seule bobine et de deux ampoules Roentgen. Les pôles de l'induit de la bobine actionnée comme d'ordinaire sont reliés : l'un aux deux mêmes pôles des tubes, l'autre à un bras métallique fixé à l'extrémité d'un long axe isolé tournant, à peu de distance, en regard de deux segments annulaires métalliques, isolés également et reliés respectivement aux pôles libres des deux ampoules. Ces segments sont situés dans le même plan, ils sont séparés l'un de l'autre par un intervalle libre, de telle sorte que, pendant la rotation, le courant de la bobine passe successivement par l'un et l'autre secteur, c'est-à-dire par l'une et l'autre ampoule [1].

La troisième disposition, la plus simple, consiste dans l'emploi d'un seul tube et d'une seule bobine. Chaque électrode du tube fonctionne alternativement comme cathode et anticathode [2]. Il suffit alors de monter sur l'induc-

---

trême minceur des feuilles. L'artifice consiste à donner une légère inclinaison à la boite de l'électroscope par rapport à l'axe optique de l'appareil, ou à obtenir un léger froissement de l'extrémité inférieure des feuilles qui se projettent ainsi, au niveau de la fente, avec évidemment moins de netteté, mais sous une épaisseur reconnue nécessaire à l'obtention d'une image pendant le temps minimum de pose que l'on doit pratiquement réaliser. A son intersection avec la fente, l'image projetée de l'électroscope fournit à chaque instant trois points représentant l'image fixe de la lame axiale et, de part et d'autre, l'image mobile de chacune des deux feuilles. L'écart linéaire des deux images mobiles donne la mesure de la déviation, qu'une graduation enregistrée permet d'exprimer en volts. Cette graduation s'opère en faisant plonger le collecteur dans un vase cylindrique conducteur isolé et porté, au moyen d'une pile, à des potentiels déterminés. On peut, dans un appareil fixe ou suspendu sans oscillations, reporter toute la netteté sur l'image d'une seule feuille et, dans les mêmes conditions, on pourrait enregistrer les déviations de la feuille unique d'un électroscope hétérostatique.

« Dans l'appareil que j'ai établi et qui mesure 0,60 m de la source lumineuse à la fente, une petite lampe Pigeon fournit une image des petites variations, à travers une fente de 0,2 mm, sur un papier de sensibilité déterminée (papier d'agrandissement B de Lumière) se déplaçant de 15 mm par heure et posant par conséquent la surface de la fente pendant 48 secondes. Ce temps est, pour les potentiels moyens, celui de la mise en équilibre de l'électroscope muni de son collecteur.

» La boîte de l'électroscope est portée sur un pied à l'extrémité d'un cône-abri qui l'enveloppe en partie sans la toucher et qui est relié à l'enveloppe du tambour photographique. De cette façon, l'instrument fonctionne sans inconvénient dans une chambre claire ; la boîte de l'électroscope peut être portée sur un pied isolant et reliée à un second collecteur pour la mesure des différences de potentiel entre deux points de l'atmosphère. »

(1) Ces trembleurs rotatifs sont à trois tiges et décalés l'un par rapport à l'autre de 180°, de telle sorte que la plongée se fait alternativement pour l'un et pour l'autre. Sur le même axe se trouve monté l'appareil chargé de trier, parmi les doubles images formées sur l'écran fluorescent, l'image radiographique correspondant à chaque œil. Il est formé d'un cylindre déprimé en son milieu pour placer le nez et dont les parois présentent de chaque côté trois fentes tracées suivant six génératrices équidistantes, les vides égalant les pleins. Les fentes devant l'œil droit sont décalées de 180° par rapport à celles placées devant l'œil gauche. On a, sous chaque main, la molette qui sert à faire varier le niveau du mercure dans l'interrupteur ; on vérifie que chaque œil ne voit qu'une image et l'on règle la plongée dans chaque interrupteur pour que les images soient d'égale intensité.

(1) Sur l'extrémité libre de l'axe du même moteur se trouve monté, avec un décalage convenable par rapport au bras métallique, un petit commutateur de courant actionnant sous 2 à 4 volts le trieur d'images placé devant les yeux de l'observateur. Il est formé de deux électro-aimants commandant deux petits diaphragmes qui s'ouvrent alternativement ; le tout est monté sur une planchette tenue à la main ou fixé sur la monture d'une paire de lunettes. Le courant induit est ainsi lancé alternativement dans un tube et dans l'autre.

L'écartement à donner aux segments dépend de la résistance des tubes qui, pour tous deux, doit être égale et assez faible (tubes mous). Afin que la dérivation qui se produit dans les deux tubes, quand le bras métallique arrive entre les deux sections, ne mélange par les images, on donne un certain décalage au commutateur rotatif commandant les petits électro-aimants.

(2) L'auteur emploie une ampoule symétrique cylindrique, comportant deux électrodes semblables formées par deux disques plans de chrome (fournis par M. Guntz) placés en regard l'un de l'autre à la distance de 65 mm environ (distance des yeux). On peut donner une légère obliquité aux électrodes dans le but d'augmenter le champ commun de leurs rayons.

Le tube ne noircit pas à l'usage comme si ses électrodes étaient des électrodes de platine. Les rayons Rœntgen donnés par le chrome sont moins pénétrants que ceux que donnerait le platine, mais ce tube fonc-

teur de la bobine un commutateur inverseur rotatif tournant sur le même axe que le commutateur qui actionne les électro-aimants des trieurs d'images. M. Guilloz a employé dans ce cas, avec le meilleur succès, des commutateurs à tiges oscillantes, plongeant à l'extrémité de leur course dans des godets de mercure, et commandées par une came excentrée montée sur l'axe d'un petit moteur.

Le commutateur inverseur peut à la rigueur servir d'interrupteur pour la bobine, mais il est préférable de lui donner une vitesse modérée et de monter en série avec lui un interrupteur rapide, rotatif ou électrolytique.

L'examen se pratique, dans ce dernier procédé, en donnant aux yeux de l'observateur une position symétrique de celle des électrodes du tube, par rapport à l'écran fluorescent.

tionne cependant d'une façon satisfaisante quand il est puissamment alimenté, ce que l'on peut faire sans inconvénient, car le chrome est moins fusible que le platine. Ce tube, monté directement sur transformateur à haut potentiel de courant alternatif, donne des images doubles pour tout objet situé dans l'espace compris entre les plans des électrodes. La radioscopie ordinaire se fera ainsi en masquant par un écran métallique les rayons émis par l'une des électrodes. Le chrome, d'un prix peu élevé, donne, après platinage pour les tubes usuels, des anticathodes aussi infusibles que des électrodes très épaisses de platine.

*Séance du 7 avril 1902.*

***Sur les conditions de stabilité des automobiles dans les courbes***, par **A. Petot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 765-768.

L'objet de cette note est d'indiquer les conditions à remplir dans la construction et la conduite des voitures automobiles pour éviter, autant que possible, les accidents par dérapage ou par renversement. Des formules qu'il établit, l'auteur déduit les conséquences suivantes :

1° Pour éviter le dérapage à l'arrière en courbe, on doit serrer *progressivement* les freins et atteindre seulement le freinage maximum quand la vitesse est assez diminuée;

2° A l'entrée en courbe, ou plus généralement quand la courbure croît, la tendance au glissement latéral s'accentue à l'avant; l'inverse se produit quand la courbure décroît;

3° On doit distribuer les masses sur une automobile, de manière à diminuer autant que possible son rayon de giration par rapport à la verticale passant par le centre de gravité. Il est en outre utile que cette dernière droite soit un axe d'inertie, si l'on veut tourner aussi facilement d'un côté que de l'autre;

4° Comme il faut toujours disposer d'un certain temps et par suite d'un certain espace pour passer d'une courbure à l'autre, il ne suffit pas, dans le tracé d'une route, de raccorder les courbes entre elles, ou avec les parties droites : il faut que le rayon de courbure de la ligne médiane varie d'une manière continue [1].

***Oscillations propres des réseaux de distribution***, par **Brillouin**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 768.

« M. Pomey a publié, dans les *Comptes rendus* du 24 mars 1902, une démonstration simple et rapide d'une propriété importante des réseaux de distribution électrique : en l'absence de condensateurs, les intensités des courants sont toutes de la forme $\Sigma C e^{\lambda t}$ où les $\lambda$ sont réelles et négatives. Il n'y a pas d'oscillations amorties ou non.

» Cette propriété est connue depuis très longtemps; j'en ai donné la démonstration dans ma Thèse de Mathématiques, parue en janvier 1881, dans les *Annales de l'École normale supérieure*; mais je me suis aperçu, quelques années plus tard, en prenant connaissance d'anciens Mémoires d'Helmholtz, que cette proposition a été énoncée et démontrée formellement par von Helmholtz en 1851, il y a 51 ans, dans son Mémoire « Ueber die Dauer und den Verlauf der durch Stromesschwankungen inducirten electrischen Strome » *Pogg. Ann. der Phys. und Chemie*, Bd. LXXXIII, p. 505-540 (p. 513-514), reproduit dans ses Mémoires, p. 419-462, n° XXV (p. 436-438). »

[1] Supposons, par exemple, que l'on ait raccordé directement, en un point M d'une route, deux cercles de rayons différents $\rho$ et $\rho'$. Comme on ne peut pas passer brusquement, du moins sans déraper, de la coubure $\frac{1}{\rho}$ à la courbure $\frac{1}{\rho'}$, on prendra instinctivement, en arrivant en M, sur la largeur de la route, ce qui manque dans le sens longitudinal. Mais alors, si la voie est encombrée, cette ressource fera défaut, et l'on sera exposé à quitter la ligne médiane, dont on ne pourra pas, faute de temps et d'espace, suivre la coubure, et à prendre la route par le travers. C'est là probablement la cause réelle d'un certain nombre d'accidents graves arrivés dans ces derniers temps, et attribués à un défaut de fonctionnement du mécanisme de direction.

*Le Gérant :* **C. NAUD.**

Tome XXXI. Samedi 3 Mai 1902. 9e Année. — N° 18.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



# NOUVEAUX OSCILLOGRAPHES

## POUR L'INSCRIPTION DES COURBES PÉRIODIQUES DES COURANTS ALTERNATIFS (1)

Mode d'observation et d'enregistrement des courbes. — Les oscillographes, ainsi que les autres appareils d'étude directe, donnent un spot lumineux dont les déviations sont proportionnelles à l'intensité ou à la tension du courant étudié ; pour transformer ces déviations en courbes, il faut imprimer en même temps au spot un déplacement perpendiculaire au premier et proportionnel au temps. De nombreux dispositifs mécaniques ou optiques ont été imaginés dans ce but pour l'emploi des oscillographes ou des rhéographes : glace tombante, tambour tournant, miroir tournant, miroir oscillant, etc. Tous sont applicables aux oscillographes, mais l'auteur s'est attaché plus particulièrement à permettre la vision continue des courbes à l'œil nu aussi bien que leur photographie. Il a reconnu que le dispositif le plus satisfaisant pour obtenir ce résultat est le miroir oscillant imaginé par M. Abraham en 1896. Les rayons lumineux provenant des oscillographes sont réfléchis environ à 45° sur un miroir mobile autour d'un axe parallèle au plan des déviations de ces rayons. Un dispositif analogue a donc été choisi pour les oscillographes.

L'oscillation du miroir est produite par une came qui lui donne un mouvement d'aller lent proportionnel au temps, puis un mouvement de retour brusque aidé par un ressort. Le mouvement de la came est entretenu soit par un pendule, soit préférablement par un moteur synchrone, dans les appareils à vision permanente.

L'auteur a réalisé pour cette application un petit moteur synchrone à 6 pôles extrêmement simple, sans frotteurs, ni balais. L'induit est fixe, l'inducteur est un aimant tournant, dont l'axe porte la came et une vis sans fin que commande une petite manivelle. Il suffit de donner à la main quelques tours à cette manivelle pour lancer le moteur à sa vitesse et le synchroniser. La came

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 41, 12 avril 1902.

perpendiculaire à l'arbre porte un canal creux, tracé suivant un profil calculé pour assurer le mouvement uniforme, et dans lequel est guidé un galet d'acier ou d'agate fixé à l'extrémité d'un levier passant par l'axe du miroir. Cet axe est défini par deux pointes d'acier fixées à une plaque d'aluminium sur laquelle est collé le miroir ou un prisme à reflexion totale.

Pendant la période de retour du miroir en arrière, les rayons lumineux provenant du projecteur sont obturés par un petit disque commandé par le moteur.

Dans sa position moyenne le miroir est environ à 45° sur l'horizontale de façon à renvoyer verticalement sur son écran horizontal les rayons qu'il reçoit des oscillographes. Devant ce miroir, du côté des oscillographes, est placée une lentille de concentration à courbure cylindrique.

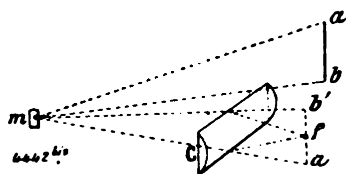



Fig. 13. — Schéma de l'artifice optique de Boys.

*ab*, fente lumineuse verticale; *m*, petit miroir d'oscillographe; *c*, lentille cylindrique à génératrices horizontales; *a'b'*, image théorique de la fente *ab*; *f*, point suivant lequel cette image est concentrée par la lentille C.

Le professeur Boys a eu, en effet, l'ingénieuse idée, pour diminuer la surface du miroir des oscillographes, de concentrer verticalement les rayons qui en proviennent, par une lentille cylindrique à axe horizontal C (fig. 13) qui permet leur libre déviation dans le sens horizontal; la source de lumière est une fente verticale éclairée par le projecteur, dont les miroirs plans des oscillographes, précédés d'une lentille plan convexe sphérique, donnent en $f$ des images conjuguées; la lentille C réduit chacune de ces droites lumineuses à un point rectangulaire ayant pour hauteur celle du miroir correspondant, réduite dans le rapport des distances $\frac{Cf}{Cm}$; l'éclairement de l'image se trouve accru en raison inverse de sa hauteur, de sorte que l'expression de $e$ est : $l$ et $l'$ étant les distances du point image respectivement au miroir de l'oscillographe et à l'axe optique de la lentille cylindrique, H la hauteur de la fente, $b$ la largeur du miroir, $a$ le coefficient d'absorption totale des rayons dans leur trajet à travers le projecteur et l'oscillographe; $i$ l'éclat intrinsèque du cratère de l'arc; $\beta$ le coefficient de diffusion du verre dépoli (qu'on doit remplacer par l'unité, si l'on regarde directement les images aériennes à l'aide d'un oculaire micrométrique); $a'$ le coefficient d'absorption de la lentille cylindrique,

$$e = \frac{(1-a)(1-a')\,b\,\mathrm{H}i}{ll'} \times \beta.$$

On conçoit combien est précieux ce moyen qui permet d'augmenter l'éclat, non par la dimension du miroir mobile, mais par celle d'une simple fente fixe; il résout complètement la question de l'éclairement des oscillographes, quelque petite que soit leur partie vibrante. En outre, il suffit que les miroirs $M_1$, $M_2$, $M_3$ soient placés sur une même horizontale pour que leurs images, fournies par la lentille C à génératrices horizontales, soient également toutes sur une même horizontale, alors même que ces miroirs ne seraient pas verticaux.

C'est pour tirer parti de cette dernière propriété que j'ai donné aux boîtes à huile des oscillographes à fer doux et aux supports des équipages bifilaires, non seulement un mouvement d'orientation, mais un déplacement vertical par vis de rappel. Quant au réglage du plongement vertical, il a pour but de permettre de diriger le faisceau de rayons réfléchi par l'oscillographe exactement sur la lentille de concentration.

Le dispositif qu'on vient de décrire permet la vision permanente des courbes sur l'écran avec une très grande fixité [1]; on peut les suivre avec un crayon sur le verre dépoli ou sur un papier.

Pour faire des photographies *posées*, on remplacera le verre dépoli par une glace sensible et on découvrira l'objectif du projecteur pendant un temps qui varie d'une seconde pour l'éclairage par arc à une demi-minute pour l'éclairage par incandescence. On obtient ainsi sur une même glace des régimes variés souvent fort intéressants comme ceux par exemple d'une commutatrice fonctionnant avec de fortes oscillations de régime.

[1] Il ne se produit de flottement des courbes que si les machines génératrices des courants alternatifs étudiés sont commandées par des moteurs à vitesse très irrégulière.

Pour faire la photographie *instantanée* par l'arc de phénomènes très changeants tels que l'arc électrique, on adapte à l'objectif un obturateur instantané à déclenchement électrique imaginé dans ce but (¹); ce déclenchement est produit par un électro-aimant qui reçoit un courant dérivé aux bornes des charbons du projecteur par un circuit passant par un bouton que presse l'opérateur et deux balais frottant sur un secteur métallique isolé, calé sur l'arbre tournant du moteur synchrone; l'angle de calage de ce secteur est déterminé par tâtonnement de façon que l'objectif se découvre pendant que l'image est projetée sur la glace par le miroir oscillant. Le courant ainsi envoyé par ce secteur peut servir également à actionner par un relais un commutateur ouvrant ou fermant un circuit pour l'analyse des courants brusques non périodiques.

Dans l'étude de ces derniers, le moteur synchrone peut du reste être remplacé par un simple moteur à courant continu actionnant un miroir tournant ou par un miroir oscillant commandé par un ressort.

J'ai également imaginé un enregistreur automatique d'un grand nombre de périodes dont je donnerai prochainement une description détaillée et qui s'adapte aussi à la caisse des appareils.

Caisses « Kodak » pour l'emploi des oscillographes. — Pour éviter toutes les complications d'un montage lors de chaque expérience et rendre l'appareil portatif, tous les organes en sont réunis et fixés invariablement dans une solide caisse en bois de 0,80 à 1,00 m de longueur. Cette caisse à laquelle je donne le nom de « Kodak » par analogie avec les appareils photographiques de Eastman, forme chambre noire (fig. 14). A l'une de ses extrémités est placé l'oscillographe, à l'autre le synchronoscope (c'est-à-dire l'ensemble du miroir oscillant, de la lentille et du moteur synchrone) et au-dessus dans la paroi, l'objectif de projection (condenseur), avec diaphragme percé d'une ou plusieurs fentes verticales destinées à éclairer le ou les équipages mobiles et le miroir de repère.

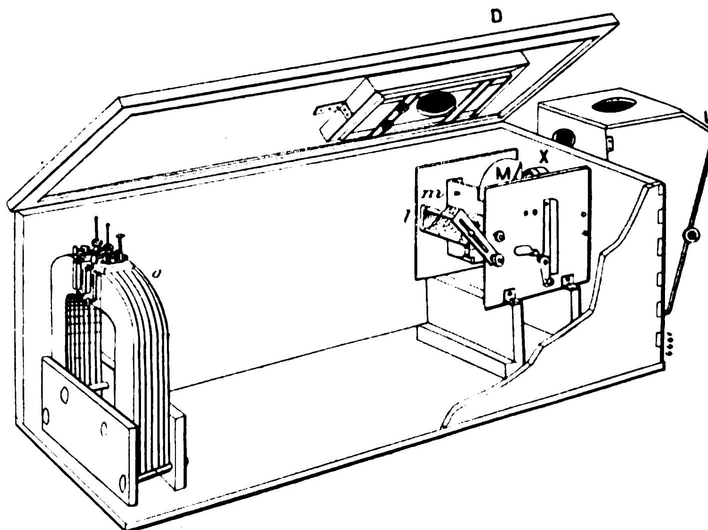



Fig. 14. — Vue intérieure d'un oscillographe double à aimant (1900).

O, aimant à lames, portant à sa partie supérieure les deux oscillographes jumeaux; D, chambre noire à soufflet; *l*, lentille cylindrique; *m*, miroir oscillant du synchronoscope; M, disque obturateur monté sur l'arbre et tournant devant l'objectif; X, objectif à lentille cylindrique fixé dans la paroi de la caisse et muni d'un diaphragme à trois fentes éclairant respectivement les miroirs des deux équipages mobiles et le miroir de repère.

De petites portes latérales permettent de régler l'oscillographe et de mettre en marche le moteur.

En outre la caisse porte un couvercle amovible qui permet de découvrir tout l'appareil. C'est sur ce couvercle qu'est fixé le chassis qui reçoit l'écran en verre dépoli pour voir et tracer les courbes; cet écran peut être remplacé par un châssis photographique. Un soufflet de chambre noire est ajouté quand on le juge nécessaire pour changer la distance focale.

Un appareil ordinaire se transforme en *appareil à projections* en recevant les rayons provenant du synchronoscope non pas sur un châssis comme l'indique la figure 15, mais sur un miroir à 45°, qu'on adapte au-dessus de l'appareil au lieu de l'écran en verre dépoli et qui renvoie les faisceaux lumineux horizontalement sur un écran blanc de 1 m² environ, placé latéralement à petite distance (fig. 16).

(¹) M. Dobkévitch et M Carpentier ont imaginé pour cet obturateur des modèles différents.

Ce miroir est plan concave pour amplifier les ordonnées des courbes dans la même proportion sensiblement que les abscisses. On remplace en outre la lentille du synchronoscope par une autre de plus long foyer et les équipages mobiles par d'autres formés de bandes plus larges et portant des miroirs de 1 mm de largeur. On accroit ainsi l'éclairement des points lumineux et l'amplitude des déviations au détriment de la fréquence, qui s'abaisse à 3 ou 4 000, valeur très suffisante pour les démonstrations publiques. Tous ces changements se font en quelques minutes.

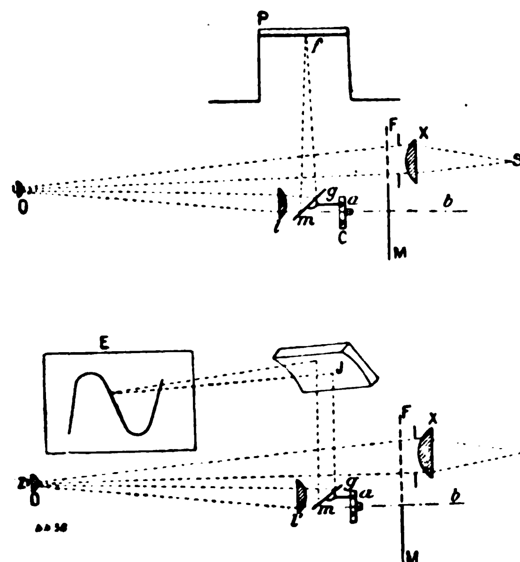



Fig. 15 et 16. — Schémas de la marche des rayons lumineux dans la caisse d'oscillographe soit pour le tracé et la photographie des courbes (fig. 15), soit pour leur projection dans un cours (fig. 16).

S, source de lumière (arc électrique); X, objectif ou condenseur, à lentille cylindrique horizontale; F, diaphragme percé de fentes verticales éclairant chaque petit miroir *n*; *n*, miroir plan d'un équipage mobile; O, petite lentille plan-convexe de la boite à huile; *l*, lentille cylindrique horizontale pour la concentration des rayons réfléchis; *m*, miroir oscillant à axe horizontal (perpendiculaire au tableau) commandé par un levier *g*; *ab*, arbre moteur; C, came calée sur cet arbre et agissant sur l'extrémité du levier *g*, et calculée de façon à ce que le déplacement du point lumineux *f* sur l'écran P soit proportionnel au temps; M, disque calé sur l'arbre *ab*, et échancré de façon à n'obturer les rayons que pendant le retour du point *f*; J, miroir qui remplace la chambre noire pour les projections; *l'*, lentille cylindrique à long foyer; E, écran de projection.

Pour employer les oscillographes sur les réseaux à *haute tension*, on blinde les parois de la caisse avoisinant l'oscillographe proprement dit de plaques d'ébonite qui l'isolent complètement, et l'on amène les conducteurs par des tubes d'ébonite ; en outre on s'arrange de façon à donner une borne commune au voltgraphe et à l'ampèregraphe de façon qu'il ne s'établisse entre eux que de très faibles différences de potentiel ; les rhéostats sont placés en dehors de la caisse. Ce dispositif risque moins de déformer les courbes que l'emploi de transformateurs réducteurs de tensions.

Pour les projections et pour les photographies instantanées, on emploie l'arc électrique ; un modèle de lampe à arc à main étudié dans ce but par l'auteur et construit par M. Vassia s'accroche contre la paroi de la caisse dans une position invariable et se manœuvre très facilement.

Pour les grands oscillographes bifilaires à électro-aimant, la caisse serait énorme ; on la remplace donc comme le montre la figure 17 par deux caisses réunies par un soufflet et assemblées complètement.

Les deux figures 18 et 19 représentent des facsimilés exacts des courbes ainsi obtenues par relevé instantané (tension et courant) sur un alternateur diphasé et un convertisseur rotatif Leblanc. Elles permettent de mettre en évidence les harmoniques des courants et leurs effets nuisibles. Je bornerai là pour cette fois les exemples [1], et je rappelle la remarquable étude de M. Armagnat qui a paru récemment dans ce journal [2], et dans laquelle il a montré la possibilité d'isoler directement les harmoniques et d'analyser complètement un courant par les oscillographes.

Enfin, pour faciliter l'emploi de l'appareil, on lui ajoute un petit tableau de distribution, dans un placard latéral, qui s'ouvre en dehors. Ce tableau contient ampèremètre, voltmètre, interrupteurs, fusibles et bornes d'attache des conducteurs ; de sorte qu'il n'y a jamais aucun montage de fils à faire. Dans ce qui précède j'ai décrit surtout les modèles construits par M. Dobkévitch ; mais des modèles également bien étudiés sont exécutés aussi par la maison Carpentier, qui en a

---

[1] On en trouvera de plus nombreux dans un article que j'ai publié dans la *Revue générale des Sciences* du 30 juillet dernier sur l'étude de l'arc à courants alternatifs par les oscillographes.

[2] H. Armagnat. Application des oscillographes à la méthode de résonance, *Écl. Élec.*, t. XXX, p. 373, 15 mars 1902.

entrepris depuis peu de temps la construction avec sa compétence toute spéciale et y a apporté divers dispositifs originaux et perfectionnés.

*Comparaison et choix entre les divers types.* — L'oscillographe à fer doux est, grâce à sa construction robuste, l'instrument normal qu'il convient d'employer dans les usages industriels.

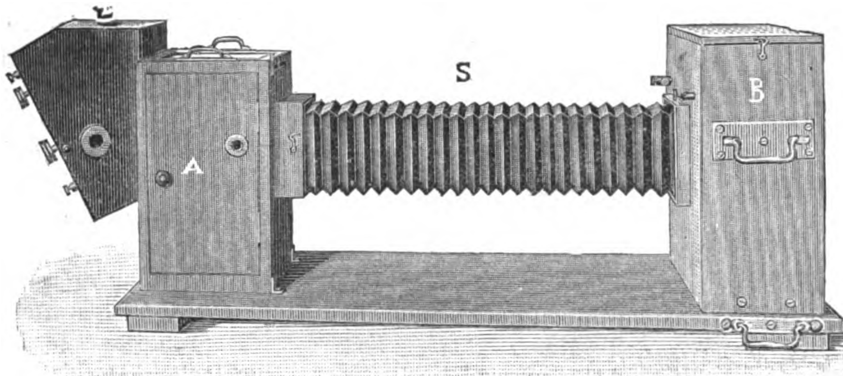



Fig. 17. — Vue d'ensemble de l'oscillographe bifilaire à électro-aimant pour laboratoire (1901).
B, caisse contenant l'électro-aimant; S, soufflet en toile noire; A, caisse formant chambre noire et contenant le synchronoscope et l'écran photographique ; L, projecteur.

Les perfectionnements récents ont permis de lui donner des qualités exceptionnelles de précision. Il n'exige que peu de précaution et peut être mis entre des mains peu exercées.

Dans les laboratoires aussi, il peut être employé avantageusement dans toutes les recherches où l'on n'a pas à analyser de courants inférieurs au 1/10 d'ampère et où l'on ne craint pas dans les circuits de voltmètre la présence d'un peu de self-induction provenant des bobines de l'oscillographe. Celle-ci peut être d'ailleurs compensée presque complètement comme on le verra ci-dessous par l'addition d'un condensateur de capacité appropriée.

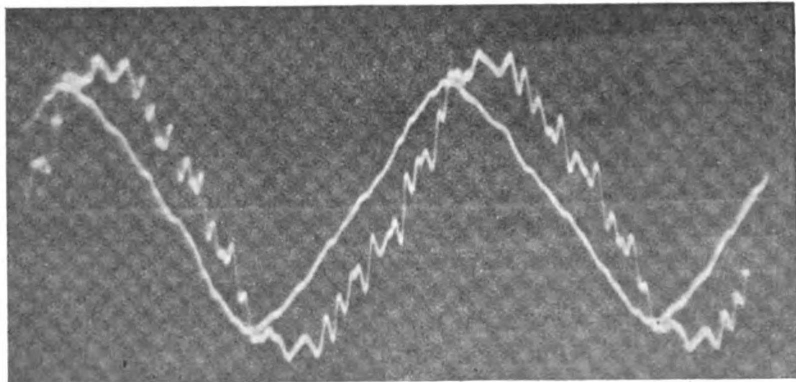


Fig. 18. — Fac-similé exact des courbes relevées instantanément (tension et courant) sur un alternateur diphasé et un convertisseur rotatif Leblanc.

Pour certaines recherches, cet oscillographe présente l'avantage d'une fréquence d'oscillation propre qu'on peut rendre très élevée et qui assure l'inscription exacte de phénomènes électriques oscillatoires atteignant jusqu'à 1 000 oscillations par seconde. D'autre part le type bifilaire présente de plus grandes sensibilités, tout en réalisant des fréquences de plus de 5 000 périodes complètes par seconde. Il convient aux recherches de laboratoires, pour lesquelles on désire éviter toute self-induction ou étudier des courants d'intensité inférieure à 1/10 d'ampère ou de tension inférieure à 25 volts. Monté sur aimant permanent, il prend encore moins de courant comme voltmètre que l'appareil à fer doux. Pour les grandes sensibilités, il exige un électro-aimant puissant qui rend l'appareil beaucoup moins portatif que le précédent. Il est aussi plus délicat de construction et d'emploi, car l'on a à craindre de brûler le bifilaire par un court-circuit. Il doit être enfin entretenu à une température constante malgré l'échauffement des bandes, produit par le courant, sous peine de voir varier le coefficient d'élasticité des bandes, et par suite la constante de l'appareil.

Comme on l'a dit, dans chacune des deux catégories précédentes, les oscillographes sont construits à volonté simples, doubles ou triples.

Les oscillographes simples ne comprenant qu'un seul équipage mobile pourraient cependant enregistrer à volonté un courant ou une force électromotrice ; il suffit de munir les oscillographes à fer doux de deux paires de bobines interchangeables, les unes à fil fin, les autres à gros fil. Quant à l'oscillographe bifilaire, toujours à fil fin, il joue le rôle de voltmètre ou d'ampèremètre, suivant qu'on le monte en série avec une grande résistance ou en dérivation sur une faible résistance. C'est un de ses avantages pratiques intéressants. Les deux types peuvent être employés sur la haute tension, soit directement, soit par l'intermédiaire de transformateurs (avec une précision moindre).

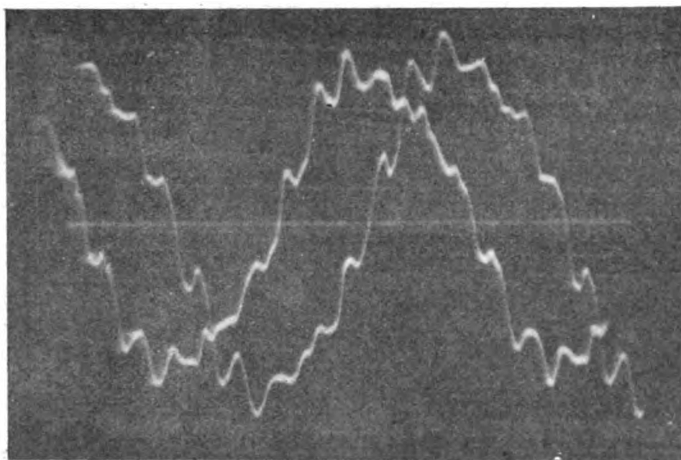


Fig. 19. — Fac-similé exact des courbes relevées instantanément (tension et courant) sur un alternateur diphasé et un convertisseur rotatif Leblanc.

Le type simple, suffisant pour des études d'ateliers, doit être remplacé par le type double quand on veut inscrire à la fois, et non successivement, la tension et le courant pour en mesurer le décalage ; c'est le cas ordinaire de la pratique.

Les oscillographes triples trouvent enfin leur application spéciale dans les recherches de laboratoire, quand on veut inscrire à la fois le courant consommé, la tension aux bornes et une autre variable corrélative, telle que la force électromotrice produisant le courant, ou les variations d'un courant soumis à des réactions, etc.

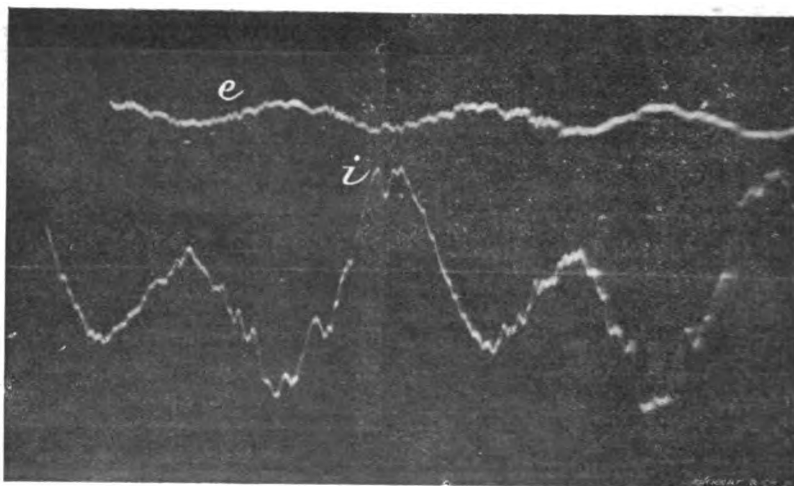



Fig. 20. — Courbes instantanées de la force électromotrice et du courant aux balais d'une commutatrice monophasée chargeant des accumulateurs (Les ordonnées de la courbe du courant sont à compter en sens contraire de celles de la courbe de force électromotrice.) Les temps vont en croissant de gauche à droite.

**Limite d'emploi des oscillographes.** — Les oscillographes sont plus simples que toutes les méthodes indirectes d'autrefois ; ils donnent l'aspect instantané du phénomène et non un aspect moyen, et se prêtent à une inscription facile des courbes. Ils peuvent jouer le même rôle pour l'étude des courants alternatifs que l'indicateur de Watt pour les machines à vapeur, et leur précision est bien plus grande.

Leur emploi n'est limité que par la rapidité des variations du courant. Il ne faut guère dépasser des fréquences supérieures au 1/50 de leur fréquence propre. Leur exactitude dépend de l'inertie, de l'amortissement et de la self-induction. En ce qui concerne les deux premiers facteurs, il suffit de savoir qu'avec l'amortissement critique la précision dans le cas usuel le plus défavorable (ins-

cription de rectangles) est sensiblement égale au rapport de la période de l'instrument à celle du courant alternatif étudié.

Quant à la self-induction de l'instrument L, elle est pratiquement négligeable avec les oscillographes bifilaires et avec les oscillographes à fer doux à gros fil, jouant le rôle d'ampèremètre ; elle n'entre en ligne de compte que dans les oscillographes-voltmètres à fer doux. Or, il est facile de voir qu'elle équivaut alors à un simple accroissement d'amortissement. En effet, l'équation du galvanomètre-voltgraphe peut s'écrire sensiblement (au deuxième ordre près) :

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(A + \frac{CL}{R + R'}\right) \frac{d\theta}{dt} + C\theta = \frac{GU}{R + R'},$$

K, A, C conservant les mêmes significations que plus haut, et U, R et R′ désignant respectivement la tension aux bornes, la résistance du voltgraphe et la résistance supplémentaire du circuit en série avec lui. On peut donc toujours compenser pratiquement la self-induction en réduisant l'amortissement, ou inversement se servir de cette self-induction pour aider à l'amortissement s'il est insuffisant.

Il existe, du reste, un autre procédé très simple pour compenser la self-induction et même l'amortissement ; il suffit de shunter la résistance morte R′ par un condensateur réglable.

On peut ainsi toujours annuler les deux derniers termes de la parenthèse, ou même la parenthèse tout entière, par un choix expérimental convenable de la capacité. Il va sans dire qu'il faut, pour que celle-ci soit bien définie, employer des condensateurs à mica ou à huile de ricin.

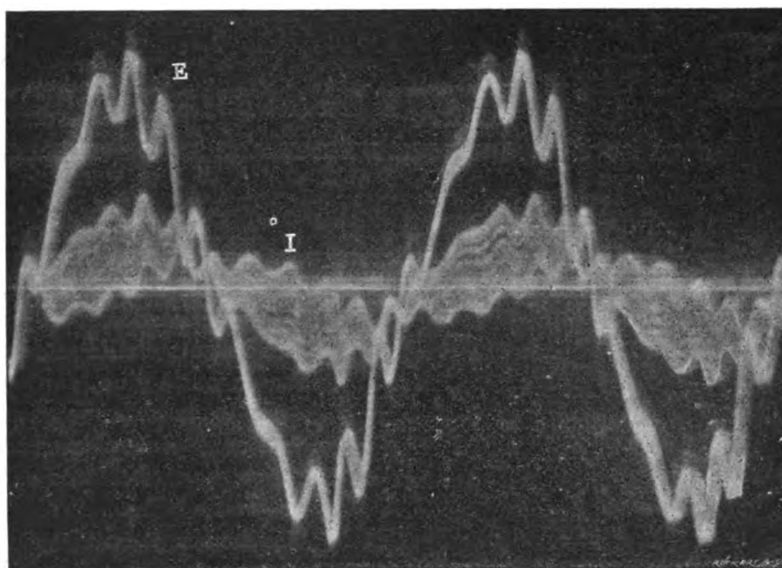



Fig. 21. — Courbes posées relevées aux bagues, côté alternatif, de la même commutatrice, pendant qu'elle « pompe ».

Mais en fait, l'amortissement et la self-induction, dans leurs limites ordinaires, laissent une précision suffisante pour que l'artifice du condensateur soit inutile dans la pratique courante industrielle, où les tensions ne descendent pas au-dessous de 25 volts [1].

Pour terminer par deux exemples caractéristiques de ce que peuvent faire les oscillographes, je reproduis ci-joint deux épreuves de courbes relevées sur une commutatrice à courants alternatifs monophasés, fonctionnant sur le secteur des Champs-Élysées, pour la charge d'une batterie. La première (fig. 20), montre les courbes *instantanées* de la force électromotrice et du courant, côté du collecteur, avec toutes les variations instantanées, purement électriques, dues aux harmoniques et aux touches du collecteur (on remarquera les changements de signe du courant). Un enregistreur ne peut donner qu'imparfaitement une idée de ces dentelures et sans qu'on les distingue sûrement de celles dues à la variation du régime moyen, pendant la stroboscopie. L'autre

[1] Pour plus de détail sur cette question et pour la description des types plus anciens d'oscillographes, voir mon article « Sur l'inscription directe des courbes périodiques » dans la *Revue générale des sciences* du 15 juillet 1901.

***

figure montre les courbes de force électromotrice et de courants alternatifs relevées du côté des bagues, *en prolongeant la pose* ; on voit ainsi, au lieu d'une seule courbe de courant, toute une famille de courbes formant une large bande, et montrant ainsi, de la manière la plus nette, les *pulsations* du régime dues au pompage de la commutatrice, dans l'espace de quelques secondes. La stroboscopie aurait de la peine à tirer une courbe moyenne vraisemblable d'un pareil régime et serait impuissante à en montrer ainsi les phases successives.

Les harmoniques de la courbe de la force électromotrice doivent leur importance à ce que la commutatrice est placée à l'extrémité d'un feeder du type concentrique présentant une assez grande capacité. A l'usine, ces harmoniques sont beaucoup moins sensibles.

(*A suivre.*)

A. Blondel.

# ACCUMULATEUR L' " ÉTAMPÉ "

## DE LA SOCIÉTÉ ANONYME D'ÉCLAIRAGE ET D'APPLICATIONS ÉLECTRIQUES D'ARRAS

Les plaques de cet accumulateur sont constituées par un assemblage de grilles unitaires. Chaque grille unitaire a, comme dimensions : hauteur, 118 mm, largeur 68 mm, et est fabriquée par le procédé spécial suivant :

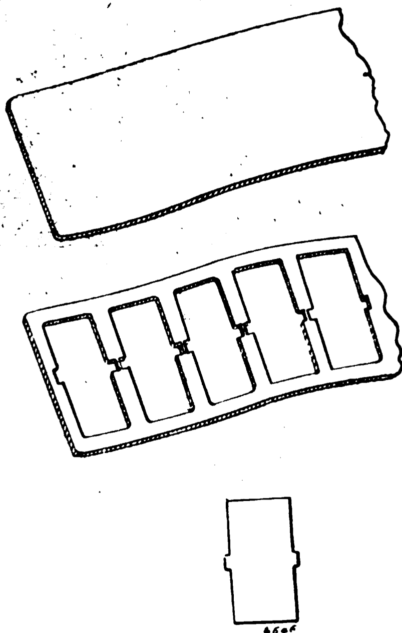


Fig. 1. — Découpage des flans.

Des lingots d'alliage de plomb et d'antimoine, à très faible teneur en antimoine, sont passés plusieurs fois sous un laminoir qui les transforme en plaques de 2,5 mm d'épaisseur. Ces plaques sont découpées en bandes de 120 mm de largeur qui, à leur tour, sont débitées en flans (fig. 1), à l'aide d'une première presse Bliss.

Ces flans sont ensuite gaufrés, comme l'indique la figure 2, en passant sous un puissant balancier à friction, qui exerce un choc de 20 tonnes. Une plaque ainsi gaufrée possède à ce moment 32 compartiments, et les nervures ont 7 mm d'épaisseur. On la place alors sous une poinçonneuse munie de 128 poinçons et qui évide ainsi chaque compartiment en quatre parties séparées par deux fines nervures en croix ayant 1 mm d'épaisseur. La grille unitaire terminée a alors l'aspect représenté en figure 3.

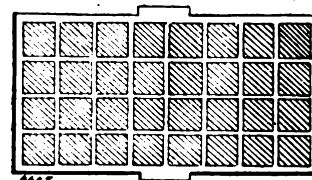
Ce procédé de fabrication offrirait, d'après les constructeurs, l'avantage de donner un métal très homogène, élastique et mécaniquement résistant sans être cassant. Les grilles pourraient être construites suffisamment légères, tout en présentant encore la solidité suffisante, pour recevoir un poids de matière active double de leur poids propre, et la matière serait bien retenue, les alvéoles ne présentant pas de dépouille.

D'après la construction, chaque alvéole possédant en son milieu une croix de faible épaisseur, noyée dans la matière active, la conductibilité doit rester assurée, même lorsque, au bout d'un certain temps, l'adhérence de la pastille avec les nervures a diminué.

L'empâtage se fait à l'aide de plomb chimiquement pur qui est comprimé à une pression convenable dans les alvéoles.

La peroxydation de ce plomb spongieux aux positives se fait par la méthode Planté, en effec-

tuant une série de charges et de décharges successives. Cette formation se fait, d'ailleurs, très rapidement, grâce à la porosité du plomb.

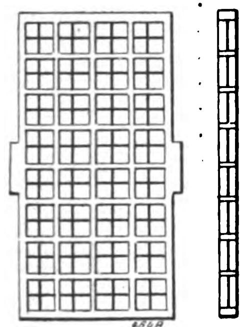

Fig. 2. — Plaque gaufrée.

Le peroxyde ainsi obtenu serait particulièrement poreux, tout en étant solide et cristallin.

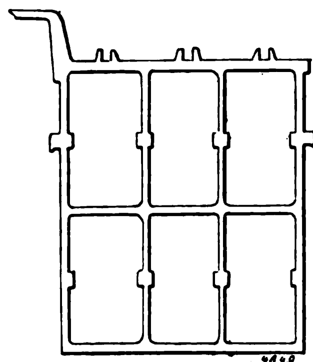
Pendant la peroxydation, il se produit une dilatation de la matière; mais la grille est suffisamment élastique pour supporter cette dilatation.

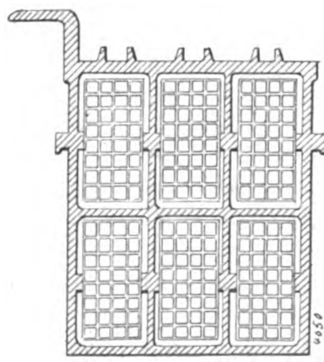
Après formation, la grille unitaire a un poids de 310 gr et peut donner 7,5 ampères-heure à la décharge en une heure, et 15 ampères-heure à la décharge en 13 heures. En admettant un poids de négatives égal à celui des positives, ces chiffres correspondent aux capacités massiques de 12 et 24 ampères-heure par kilogramme d'électrodes.

Les petites plaques comprennent une seule grille unitaire, et les grandes sont constituées d'un nombre plus ou moins grand de grilles assemblées dans un châssis-support en plomb antimonié coulé, et présentant la forme de la figure 4. Les grilles unitaires sont soudées autogènement en deux points au milieu de leur hauteur. Elles sont ainsi parfaitement libres de se dilater, et la répartition du courant se fait uniformément dans toute la plaque. Celle-ci, terminée, présente l'aspect indiqué en figure 5.


Fig. 3. — Plaque terminée.

Le montage des éléments à poste fixe, se fait comme il est représenté en figure 6 : les plaques qui portent à la partie supérieure des crochets venus de fonte avec le cadre, sont supportées par ces crochets au moyen de dalles en glace *b*, inclinées. L'écartement entre les plaques est maintenu par des tubes de verre *c* verticaux passant au milieu des grilles unitaires. Ces tubes reposent au fond du bac *a*, en verre moulé, par l'intermédiaire de pièces en plomb *e* en forme d'U; ils sont guidés à la partie supérieure par des lames de verre longitudinales *d*, maintenues elles-mêmes par des saillies venues de fonte avec le cadre. Entre l'extrémité inférieure des plaques et le fond du bac, est laissé un espace assez considérable.


Fig 4. — Châssis-support de plomb antimonié.


Fig. 5. — Plaque à 6 grilles unitaires.

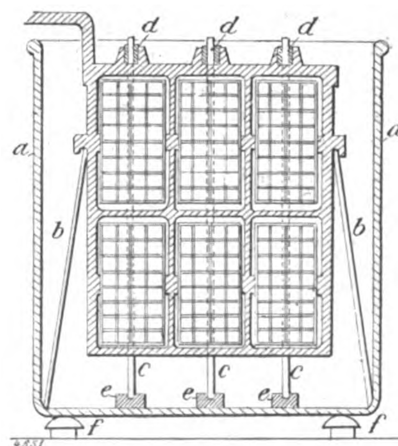


Fig. 6. — Elément à poste fixe avec bac en verre.

Nous avons résumé, dans le tableau ci-dessous, les constantes relatives à deux éléments à poste fixe, l'un monté dans un bac en verre et l'autre, dans un bac en bois imprégné, doublé de plomb.

Pour l'allumage des moteurs de voitures automobiles, le montage des plaques s'effectue dans des bacs en celluloïd. Voici quelles sont les constantes d'un élément de ce type.

| | | |
|---|---|---|
| Type, numéro | 7 | 24 |
| Nature du bac | Verre | Bois doublé de plomb. |
| Nombre de plaques | 4 + et 5 — | 16 + et 17 — |
| Nombre de grilles unitaires positives | 16 | 96 |
| Dimensions extérieures de l'élément, en millimètres. — longueur | 210 | 690 |
| — largeur | 240 | 400 |
| — hauteur | 355 | 390 |
| Poids total des électrodes, en kilogrammes | 17,80 | 85,10 |
| » » de l'élément, sans acide, en kilogrammes | 41,50 | 190 |
| » d'acide (en supposant la concentration 25° B.) en kil. | 13,31 | 81,07 |
| » total de l'élément, acide compris, en kilogrammes | 54,81 | 271,07 |
| Capacités en ampères-heure, aux différents régimes. — 3 heures | 128 amp.-h. à 42,6 amp. | 768 amp.-h. à 256 amp. |
| — 5 » | 160 » à 32,0 » | 960 » à 192 » |
| — 10 » | 208 » à 20,8 » | 1248 » à 124,8 » |
| Intensité maxima du courant de charge, en ampères | 24 | 144 |

| | |
|---|---|
| Numéro | 4 |
| Nature du bac | Celluloïd |
| Dimensions extérieures de l'élément, en millimètres. — hauteur (bornes comprises) | 205 |
| — longueur | 97 |
| — largeur | 80 |
| Poids de l'élément (acide non compris), en kilogrammes | 3,42 |
| Capacité en ampères-heure | 60 |
| Intensité maxima du courant de charge, en ampères | 6 |

J. Reyval.

ESSAI DE DÉTERMINATION

DES

# ÉLÉMENTS D'UN PROJET DE CABLE SOUS-MARIN

## PROPAGATION DU COURANT — VITESSE DE TRANSMISSION [1]

Formation des signaux. — L'alphabet en usage est l'alphabet Morse. Le point est produit par l'envoi d'un courant positif, le trait par un courant négatif. Ces courant sont d'égale durée. Quand au poste de départ, on appuie sur une touche du manipulateur, touche positive par exemple, on détermine au poste d'arrivée l'inscription sur la bande d'une courbe telle que $U_1$. (*courant principal d'arrivée*). Si au bout d'un certain temps $t_1$ on cesse d'appuyer sur la touche du manipulateur, la ligne est mise à la terre. On peut imaginer, ce qui revient au même, que la pile n'a pas été supprimée, mais qu'on lui a superposé, à partir de ce moment, une pile égale et de sens contraire. La courbe inscrite sur la bande sera donc une courbe résultant de la combinaison de deux courbes identiques, décalées de $ot_1$ les ordonnées de la deuxième $U'_1$ étant négatives. Le résultat sera une courbe telle que *oabc* (fig. 6). Nous appellerons cette courbe, la *courbe du signal élémentaire*.

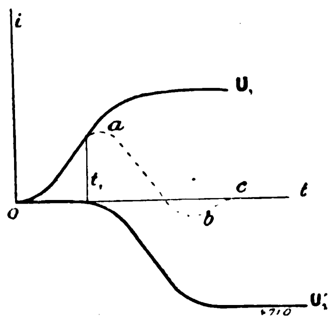



Fig. 6.

Ce sera la courbe correspondant à la transmission d'un *e* (un point courant positif). Un *t* (trait, courant négatif) donnerait une courbe égale, mais symétriquement placée par rapport à l'axe *ot*.

Si on continue à manipuler, les différentes courbes de signaux élémentaires se combineront

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 124, 26 avril 1902.

entre elles. On pourra facilement obtenir le dessin qui devra s'inscrire sur la bande d'arrivée. La forme dépendra de 3 éléments : forme de la courbe du courant principal — durée d'émission du courant — intervalle entre les signaux. Le premier élément dépend des dispositifs employés pour la transmission et la réception, les deux autres de la vitesse et de la cadence des transmissions. Nous allons examiner séparément chacun de ces éléments.

1° *Courant principal d'arrivée.* — La figure 7 donne les formes qui correspondent aux trois cas de la pratique. Nous avons déjà fait remarquer l'avantage que présente l'emploi des condensateurs, dispositif qui permet au courant d'atteindre plus rapidement sa valeur maximum.

2° *Signal élémentaire.* — La forme du signal élémentaire dépend de la durée d'émission. On peut vérifier aisément, qu'à égalité de durée d'émission, la courbe atteint le plus rapidement sa valeur maximum avec deux condensateurs. De plus, il y a avantage à diminuer autant que possible la durée d'émission.

La figure 8 donne les courbes $S_1$ $S_2$ $S_3$, correspondant respectivement aux 3 cas pratiques, pour une durée d'émission égale à $\frac{CR}{100}$. Le maximum est atteint pour $S_1$, au bout de 0,09, pour $S_2$ au bout de 0,07, et pour $S_3$ au bout de 0,05. Si on tient compte de ce que le courant d'arrivée est

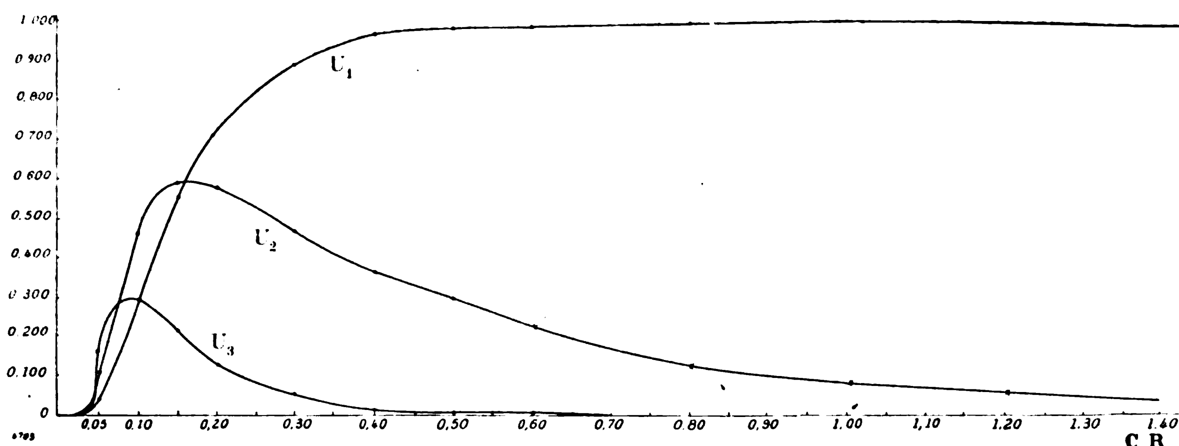



Fig. 7. — Courant principal d'arrivée. — $U_1$, sans condensateur; $U_2$, un seul condensateur soit à l'arrivée, soit au départ; $U_3$, un condensateur à l'arrivée, un au départ.

pratiquement nul, pendant le temps 0,030 — 0,025 — 0,020, les maximums sont atteints au bout des temps 0,060 — 0,045 — 0,030. Le signal $S_3$ présente une forme particulièrement raide.

[Le signal élémentaire peut être plus compliqué. Il peut, en effet, être formé par l'envoi de plusieurs courants de différentes durées et de différents sens; on obtient alors ce qu'on appelle des *signaux bridés*. L'avantage de ces signaux était indiscutable avant l'emploi de condensateurs de blocage. Ce dernier dispositif, beaucoup plus simple et plus commode, les a fait abandonner. Cependant, en employant simultanément les deux procédés, on peut améliorer très sensiblement le rendement des câbles. Nous n'étudierons pas ce système, parce qu'en général il n'est pas usité].

3° *Formation des lettres.* — Pour figurer les lettres elles-mêmes, il suffira de combiner convenablement les signaux élémentaires. Nous donnons, sur la figure 8, en traits mixtes, le dessin de la lettre *i* dans les trois cas pratiques. On a supposé que la durée d'émission est de 0,01 et qu'un intervalle égal de mise à la terre s'écoule avant l'émission du signal suivant. C'est la cadence généralement admise. On remarquera combien les formes de la lettre *i* sont différentes dans les trois cas. Seule, la forme $S'_3$ permet de distinguer les deux sommets qui correspondent aux deux émissions de courant qui composent la lettre. Sans insister sur ce point, sur lequel nous reviendrons plus loin, nous pouvons déjà prévoir que la lecture des signaux sera beaucoup moins facile avec les formes $S'_2$ et $S'_1$.

VÉRIFICATIONS EXPÉRIMENTALES DES FORMULES. — On peut donc, au moyen des tables que nous avons données, dessiner les courbes correspondant à la réception de mots quelconques. C'est même là un exercice fort utile qui fait mieux comprendre les particularités de ces courbes et peut perfectionner dans leur habileté les personnes qui ont besoin de se familiariser avec la réception du recorder. Nous allons montrer que les courbes calculées sont bien identiques aux courbes réellement reçues. Nous choisirons, pour cela, deux câbles de modèles fort différents qui, par leur spécification et leur longueur, semblent être aux deux extrémités de la série des câbles sous-marins, actuellement en exploitation.

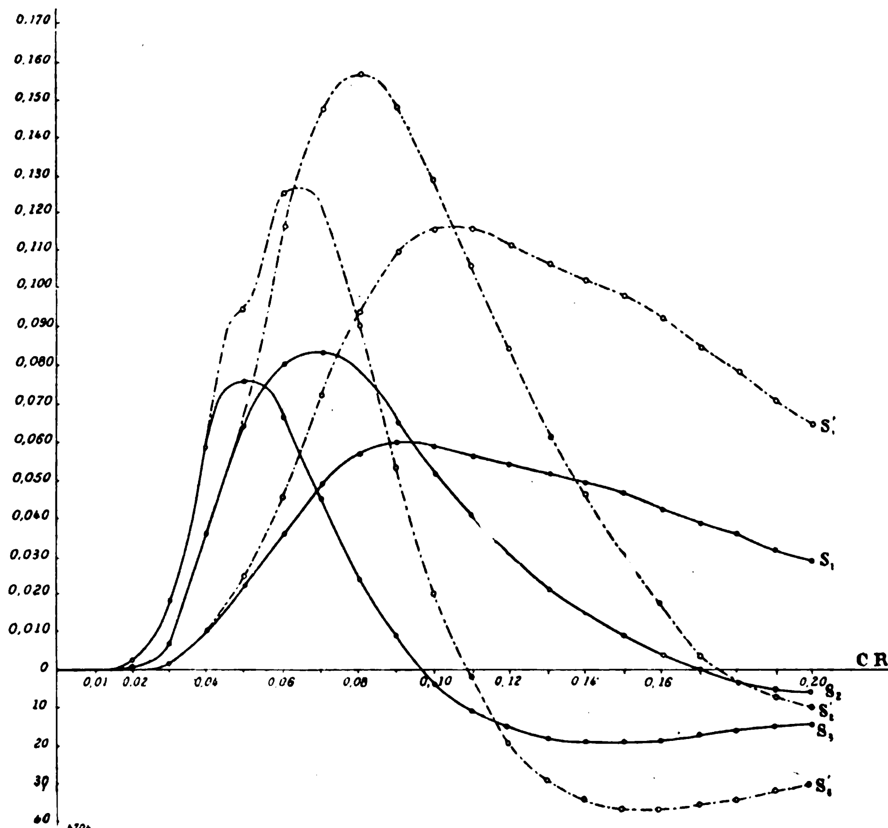



Fig. 8. — Forme du signal élémentaire pour une durée d'émission égale à $\frac{CR}{100}$. $S_1$, sans condensateur ; $S_2$, un condensateur au départ ou à l'arrivée ; $S_3$, condensateur au départ et à l'arrivée ; $S'_1$, $S'_2$, $S'_3$ forme de la lettre *i* dans les mêmes conditions.

*Câble de Brest au cap Cod.* — Ce câble, qui appartient à la *Compagnie française des câbles télégraphiques*, est le plus long câble connu. Il a 3 174 milles. L'âme renferme 300 kg de cuivre et 180 kg de gutta par mille ; la résistance est, au mille, de 1,65 ohm et la capacité de 0,47 microfarad. La transmission s'effectue au cap Cod au moyen d'une pile de 25 éléments Fuller (force électromotrice d'un élément 1,90 volt, résistance 0,1 ohm) et d'un condensateur de 55 microfarads, la réception à Brest avec un condensateur de 60 microfarads et un recorder de 420 ohms. Les longueurs réduites des appareils sont de 13 milles pour la transmission et 180 milles pour la réception. La constante totale de temps est

$$CR = 1,65 \times 0,47 \times 10^{-6} \times (3,174 + 13 + 180)^2 = 8^s,70,$$

Cherchons à transmettre des signaux dont la durée d'émission soit $\frac{CR}{100}$ et la durée de mise à la

terre égale. On devra transmettre par minute

$$\frac{60 \times 100}{2 \times CR} = \frac{6\,000}{17,4} = 344 \text{ signaux.}$$

Le signal élémentaire est justement la courbe $S_3$ de la figure 8. Pour avoir les intensités en micro-ampères, il suffira de multiplier les ordonnées par le facteur

$$\frac{2\pi^2 C_1 C_2 E}{C^2 R} = 212.$$

La courbe en pointillé de la figure 9 donne le signal élémentaire. La courbe en traits pleins donne les 5 premières lettres du mot compagnie. L'intervalle entre chaque lettre est égal à la durée d'un signal, suivant la cadence généralement adoptée.

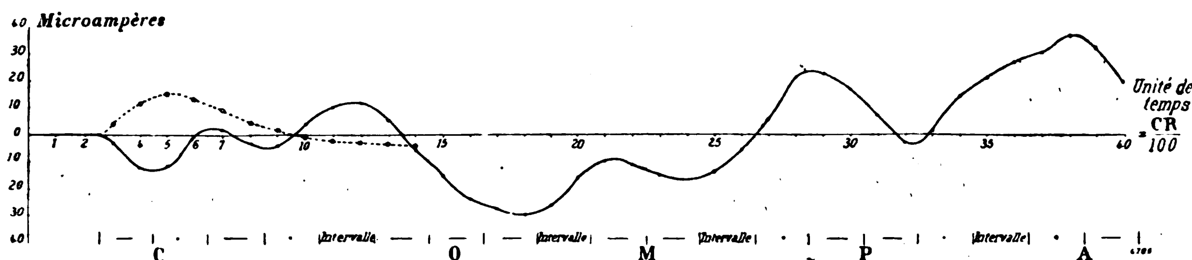



Fig. 9. — Câble de Brest au cap Cod. — Réception des premières lettres du mot Compagnie (compa).

Durée d'un signal $t = \frac{2CR}{100} = 0,174$ S

Nous avons pu obtenir de l'obligeance de M. Godefroy, directeur de la Compagnie, à Brest, la courbe réellement reçue sur l'appareil dans les conditions indiquées ; cette courbe est formée d'une série de points, car le siphon du récepteur ne trace pas une ligne continue : mis en vibration par un mécanisme spécial, il dépose sur le papier 35 points par seconde, à des intervalles réguliers de $\frac{1}{35}$ de seconde, soit $\frac{CR}{304,5} = CR \times 0,00328$.

On peut donc placer ces points sur la courbe calculée. On constate alors une correspondance aussi parfaite qu'on le peut désirer entre les valeurs des ordonnées successives des deux courbes.

*Câble du Havre à Waterville.* — Ce câble appartient à la Commercial câble Company. Sa longueur n'est que de 513 milles. C'est un des plus petits câbles sous-marins exploité au recorder. Ses constantes électriques par mille sont 17,41 ohms et 0,32 microfarad. Il ne renferme que 32 kg de cuivre et 37 de gutta par mille. Il est bloqué par deux condensateurs de 30 microfarads. La pile de transmission est de 12 éléments Leclanché, et le récepteur a environ 500 ohms. Un paratonnerre Siemens de 100 ohms environ est placé à chaque extrémité. Les longueurs réduites des appareils de transmission et de réception sont de 25 et 57 milles. La constante totale de temps est

$$CR = 17,41 \times 0,32 \times 10^{-6} \times (513 + 25 + 57)^2 = 1^s,97$$

M. Ronot, directeur de la Compagnie au Havre, a bien voulu exécuter une série d'expériences à l'effet de vérifier nos théories. Les signaux étaient formés par une émission de 0,03 CR, suivie d'une mise à la terre de 0,02 CR. La figure 10 représente, en pointillé, un signal élémentaire, et les 3 premières lettres du mot commercial. Nous avons calculé 67 points de la courbe correspondante à des intervalles de 0,01 CR = 0,02 S. La vitesse de transmission était de $\frac{60}{0,02 \times 5} = 600$ à la minute. Il se trouva, par une coïncidence heureuse, que le vibrateur donnait 50 vibrations par seconde, de sorte que les points sur la bande correspondaient à des intervalles de temps de 0,02 S, comme les points calculés. La comparaison entre les deux courbes en fut énormément facilitée ; la concordance fut parfaite.

Le facteur, par lequel il faut ici multiplier les nombres déduits des tables pour avoir les ordonnées en micro-ampères, est

$$\frac{2\pi^2 C_1 C_2 E}{C^2 R} = 703.$$

**Lisibilité des signaux.** — Ces vérifications expérimentales, que nous avons pu réaliser dans des cas aussi différents que possible, établissent bien que les formules que nous avons proposées,

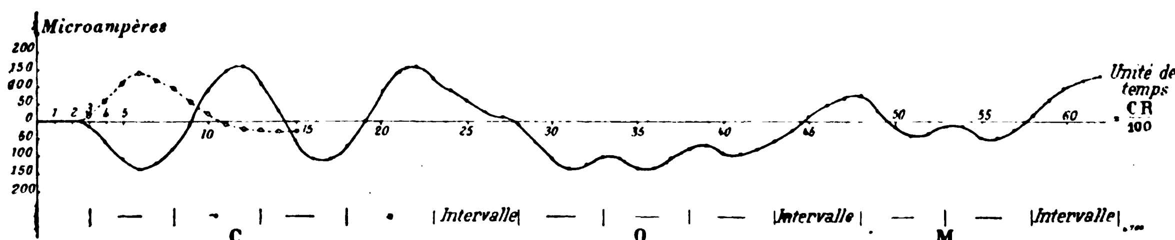



Fig. 10. — Câble du Havre à Waterville. — Réception des premières lettres du mot commercial (com). Durée d'un signal $t = \frac{5CR}{100} = 0{,}098$ S.

représentent, d'une façon très exacte, la variation du courant d'arrivée. Nous appuyant sur ce résultat, nous avons pu étudier la manière dont varient les formes correspondant à différentes lettres, suivant les conditions de la transmission. Nous avons d'abord constaté qu'il y avait avantage à avoir des émissions de courant aussi courtes que possible. Le signal élémentaire a une forme plus aiguë et les lettres se composent de sommets mieux marqués. Cependant l'intensité du courant d'arrivée diminue avec la durée d'émission; on ne peut donc réduire indéfiniment cette durée. La pratique a montré qu'une bonne transmission peut être obtenue, si, pour chaque signal élémentaire, la durée d'émission est égale à celle de mise à la terre, et nous avons admis, pour notre étude, ces conditions, parce que, cherchant surtout à connaître la vitesse maximum réalisable, nous avons été amenés à donner aux signaux des durées de quelques centièmes de CR, et qu'alors la diminution de la durée d'émission au delà de la proportion indiquée, n'augmente pas sensiblement la netteté du signal élémentaire. Pour le câble du Havre à Waterville, nous avons vu que le rapport de la durée d'émission à celle de mise à la terre était de 3 / 2. Cette disposition n'est pas favorable à la vitesse, mais, comme on est loin ici du maximum, la netteté est encore suffisante et, en augmentant la durée d'émission, on a l'avantage d'accroître le courant d'arrivée, ce qui permet de réduire la pile de transmission.

L'étude particulière de la lettre *s*... va nous permettre d'exposer clairement comment les différents signaux des lettres se déforment avec les variations de la vitesse de transmission. Les




Fig. 11.

formes 5, 4, 3 et 2 (fig. 11) représentent cette lettre pour des durées de signaux de 5, 4, 3 et 2 centièmes de CR. (Dans le cas de deux condensateurs).

Les 3 sommets sont d'abord distincts, puis ils se soudent pour donner une ligne horizontale, ils réapparaissent sur une ligne oblique pour enfin disparaître suivant cette même ligne.

Si on fait la même étude dans le cas d'un câble bloqué par un seul condensateur à l'arrivée ou au départ, on trouve que les mêmes formes sont obtenues avec des vitesses beaucoup moindres. Il faut augmenter la durée des signaux de moitié environ pour avoir les mêmes formes. Ce mode

de transmission n'est donc pas avantageux. Il est, d'ailleurs, rarement employé et jamais il n'est usité sur les grands câbles.

Les formes 5, 4, 3 et 2 sont fort intéressantes, parce qu'elles paraissent constituer les différents degrés de lisibilité des signaux. Les signaux représentent une sorte d'écriture que les employés, chargés de la réception, s'habituent à déchiffrer. Il est aisé de lire la forme 5 dont tous les sommets sont marqués; la forme 4 oblige déjà à un certain effort, la longueur des signaux suivant l'axe de la bande servant seule à déterminer le nombre des sommets. Les sommets réapparaissent bien dans la forme 3, mais ils sont disposés sur une ligne oblique, ils ne sont, d'ailleurs, pas aussi nets que nous l'avons figuré; enfin, à la forme 2, ils ont disparu, et on ne peut deviner qu'il y a trois sommets que par la hauteur du sommet unique et l'ampleur de la base. L'augmentation de la vitesse entraîne donc une déformation progressive qui accroît les difficultés de lecture.

La forme 2 paraît être la limite imposée à la lisibilité. En effet, au delà de cette vitesse, les sommets de la lettre *s* tendent à se superposer verticalement, de sorte que, seule, la hauteur du sommet unique pourrait indiquer le nombre des signaux élémentaires. Mais cette hauteur est impossible à reconnaître pour le lecteur, lorsque les lettres ne sont pas isolées, mais sont liées à d'autres qui font partie du même mot. Nous sommes donc amenés à conclure que l'augmentation de la vitesse de transmission exige une habileté de plus en plus grande de la part des employés, mais que cette habileté, si grande qu'elle soit, devient impuissante, si la vitesse de transmission dépasse la forme 2.

Il est bien évident qu'en pratique la règle ne peut pas être aussi absolue. La nature même du texte reçu peut rendre la lecture plus ou moins facile; une dépêche de presse se lira toujours plus aisément qu'une dépêche de code, et la vitesse pourra être augmentée. Mais nous voulons dire que, pour faire un travail soutenu et régulier dans des conditions normales, la forme 2 est seule acceptable.

Vitesse de transmission. — Admettant ce principe, il nous sera aisé d'établir la formule qui donnera la vitesse maxima de transmission. Le nombre maximum de signaux qu'on pourra transmettre dans une minute sera

$$N = \frac{60}{0{,}02\,CR} = \frac{6\,000}{2\,CR}. \qquad (5)$$

Il y aura intérêt à diminuer autant que possible les longueurs réduites correspondant aux appareils de transmission et de réception. La pile devra être peu résistante, et les condensateurs aussi faibles que possible; on sera donc amené à prendre des accumulateurs ou des piles très peu résistantes, et à donner à la pile une force électromotrice aussi grande que le comportera la sécurité du câble, afin de pouvoir diminuer les condensateurs. On pourra admettre, d'une manière générale, quand il s'agira d'étudier un projet de câble que la constante totale de temps CR sera supérieure de 1 / 10, à la constante C'R' relative au câble seul, de sorte que l'on aura, pour déterminer C'R' si on se donne N,

$$N = \frac{6\,000}{2\,C'R'\left(1 + \frac{1}{10}\right)} = \frac{2\,700}{C'R'}. \qquad (6)$$

Si nous appliquons cette formule au projet de câble transpacifique dont nous avons parlé au début de cet article, le modèle de 294 kg de cuivre et 180 de gutta donne $\rho = 1{,}68$ ohm, $\gamma = 0{,}47$ microfarad $\gamma\rho = 0{,}77$. La longueur est de 3 560 milles.

$$C'R' = \gamma\rho L^2 = 0{,}77 \times \overline{3\,560}^2 \times 10^{-6} = 9^s{,}76.$$

$$N = \frac{2\,700}{9{,}76} = 277.$$

****

Ce nombre est à peu près celui qui a été indiqué par MM. Gray et Lucas. Le chiffre indiqué par M. Muirhead paraît trop élevé, et celui de M. Preece trop faible.

Les formules 5 et 6 sont donc celles qui nous donneront la vitesse de transmission, quand on pourra réaliser des signaux de la forme 2. Mais, si le manque d'habileté des lecteurs, ou toute autre cause, oblige à adopter une forme différente, la formule 5 devra être modifiée et remplacée par la suivante

$$N = \frac{6\,000}{n\,CR} \qquad (7)$$

$n$ étant différent de 2.

Pour les câbles de faible longueur, la forme 2 ne peut être obtenue pour les signaux, et c'est là ce qui explique les difficultés qu'on a rencontrées lorsqu'on a voulu trouver une formule générale qui s'applique à tous les câbles, quelle que soit leur constante de temps. Nous rappellerons que le récepteur ne peut enregistrer correctement des courants ondulés, dont les sommets se reproduisent à des intervalles de temps inférieurs à 1 / 25 de seconde. Or, il faut bien admettre que, s'il n'est pas indispensable de voir nettement les sommets qui correspondent à des courants de même sens formant les éléments d'une même lettre, il faut au moins qu'on puisse distinguer les éléments d'une même lettre correspondant à des courants de sens contraires. Il en résulte que la durée des signaux doit être supérieure à 1/ 25 de seconde et leur nombre inférieur à 1 500 par minute. Les conditions de fonctionnement du récepteur limitent donc le nombre des signaux qu'on peut recevoir. En admettant que le chiffre de 1 500 est le maximum auquel il faudra s'arrêter en pratique, la formule 5 indique que, seuls, les câbles dont le CR est supérieur à 2 secondes $\left(\frac{6\,000}{1\,500 \times 2}\right)$ pourront être exploités avec des signaux de la forme 2.

Cette particularité n'a pas toujours été comprise par les auteurs qui ont écrit sur la question de vitesse de transmission, parce qu'ils ne se sont pas assez préoccupés de la forme que présentaient les signaux. De nombreuses expériences, que nous avons réalisées sur des câbles de faible constante de temps, nous ont montré que la vitesse de transmission est toujours limitée par l'inertie du récepteur. Quant à la forme des signaux, elle est celle qui correspond au nombre $n$ qu'on déduit de la formule (7).

Nous croyons qu'on peut établir la règle suivante : avec des récepteurs ordinaires, les câbles sous-marins doivent être divisés au point de vue de leur exploitation en deux catégories, suivant que leur constante de temps est supérieure ou inférieure à 2 secondes.

Pour la première catégorie, la vitesse de transmission sera limitée par les conditions de lisibilité des signaux reçus sur les bandes; pour les autres, la limite sera imposée par l'inertie du récepteur, et le nombre maximum des signaux qu'on pourra obtenir sera indépendant de la spécification du câble.

Projet de cable. — Quand il s'agit d'étudier un projet de câble, la première question qu'on doit se poser est donc celle-ci : Adoptera-t-on des câbles dont la constante de temps soit inférieure à 2 secondes? La réponse semble facile : comme on doit toujours, en pratique, adopter les solutions les plus économiques, et qu'en donnant à CR sa valeur maximum, on diminue autant que possible le poids de cuivre et de gutta, il est inutile de choisir une spécification donnant une constante inférieure à deux secondes. Cependant, dans bien des cas, d'autres considérations interviennent dans le problème. D'abord, on ne peut pas réduire outre mesure les poids de cuivre et de gutta, si on veut que l'âme ait des chances de durée. Le type le plus réduit qui ait été employé correspond à 32 kg de cuivre et 37 de gutta par mille ; il ne paraît guère possible de descendre au-dessous de ces chiffres. Il faut que le cuivre ait une certaine masse, et la gutta une épaisseur suffisante pour assurer un isolement satisfaisant et durable. D'autre part, si on adopte une spécification qui donne une faible constante de temps, on peut employer des appareils de réception différents du recorder et souvent plus commodes. C'est ainsi que, sur les câbles qui relient Marseille à Alger ($C'R' = 0{,}75$ S), on a pu faire fonctionner des appareils Baudot; et ce mode d'exploita-

tion a été préféré au recorder à cause de la commodité que présente pour la réception un appareil imprimeur.

Pour les câbles de faible longueur, la considération de vitesse de transmission ne sera donc pas, en général, le seul élément de la question. Si les câbles ont moins de 500 milles, on pourra adopter le plus souvent, sans aucun inconvénient, la spécification de 32 kg de cuivre et 37 de gutta qui donnera $C'R' \leqq 5{,}57 \times 500^{-2} \times 10^{-6} = 1{,}64\ S$. Entre 500 et 1 000 milles, on pourra prendre le type un peu plus fort et aujourd'hui très communément adopté de 59 kg de cuivre et 59 kg de gutta qui donne $C'R' \leqq 3 \times 10^{-8} \times 1\,000^{-2} = 3{,}0\ S$.

Pour un câble de 1 000 milles ayant cette spécification, on aurait 900 signaux par minute. Si cette vitesse n'était pas suffisante, on pourrait obtenir jusqu'à 1 500 signaux en réduisant la valeur de la constante de temps par un choix convenable de la spécification.

Au delà de 1 000 milles, la formule 6 donne la valeur du produit $C'R'$ et, par conséquent, du produit $\gamma\rho$ qu'il faudra obtenir pour avoir un rendement donné, et chacun des éléments $\gamma$ et $\rho$ de ce produit seront déterminés séparément par des considérations particulières. La nécessité d'avoir une couche de gutta suffisante pour assurer une bonne valeur à l'isolement et sa conservation, donnera un minimum pour son épaisseur, et ce minimum sera adopté par raison d'économie. Quelques tâtonnements permettront de fixer les dimensions du conducteur de cuivre, de manière à obtenir pour $\gamma\rho$ la valeur voulue.

Nous n'entrerons pas dans le détail de ce calcul, car nous dépasserions les bornes de cet article, dans lequel nous avons voulu simplement montrer comment on pourrait en établir les bases d'une façon rigoureuse. Nous nous contenterons, pour conclure, de résumer en quelques lignes les résultats de la théorie que nous avons présentée et que l'expérience a vérifiée : Les phénomènes, qui accompagnent la propagation des courants sur les câbles, sont de même nature, quelle que soit la longueur ou la spécification de ces câbles; ils ne dépendent que de la *constante totale de temps,* expression par laquelle nous avons désigné le produit de la capacité par la résistance, produit calculé en tenant compte des appareils. La vitesse de transmission est inversement proportionnelle à cette constante. Le nombre des signaux qu'un câble de constante CR pourra transmettre dans une minute est donné par la formule

$$N = \frac{3\,000}{CR}.$$

Mais ce chiffre ne pourra être atteint en pratique que s'il est inférieur à 1 500, nombre que les conditions particulières de fonctionnement des récepteurs en usage ne permettent pas de dépasser.

DEVAUX-CHARBONNEL.
Ingénieur des Télégraphes.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## TRACTION

***Conduite de trains électriques à plusieurs voitures motrices***, par **Kubierschky**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 558, 11 juillet 1901.

L'emploi de trains composés de plusieurs voitures motrices permet à l'exploitation d'augmenter la puissance d'une ligne donnée et de diminuer les frais d'établissement et d'entretien de la voie par suite de la répartition des efforts. Différents systèmes ont été proposés pour la commande des voitures motrices.

Frank Sprague commande les contrôleurs de chaque voiture avec des servomoteurs dont le circuit est ouvert ou fermé par des relais. Chaque servomoteur a deux enroulements inducteurs un pour chaque sens de rotation.

L'auteur a élaboré avec M. E. Volkers un sys-

tème analogue dont les caractéristiques sont les suivantes :

1° Le courant envoyé dans le servomoteur commande aussi l'embrayage magnétique qui accouple le moteur et le cylindre commutateur.

2° Dans le sens de l'ouverture le cylindre est mû par un ressort ou un poids.

On arrive ainsi à manœuvrer le train dans les deux sens par seulement 4 fils fins parcourant tout le train. On évite de multiplier les couplages flexibles entre les voitures d'autant plus délicats qu'ils sont traversés par des courants plus forts.

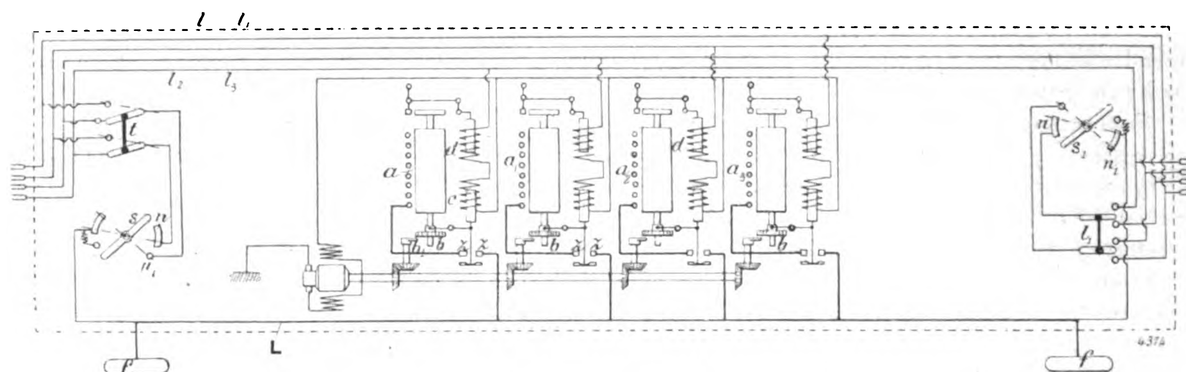



Fig. 1. — Schéma des connexions d'une voiture motrice.

La figure 1 donne le schéma d'une voiture

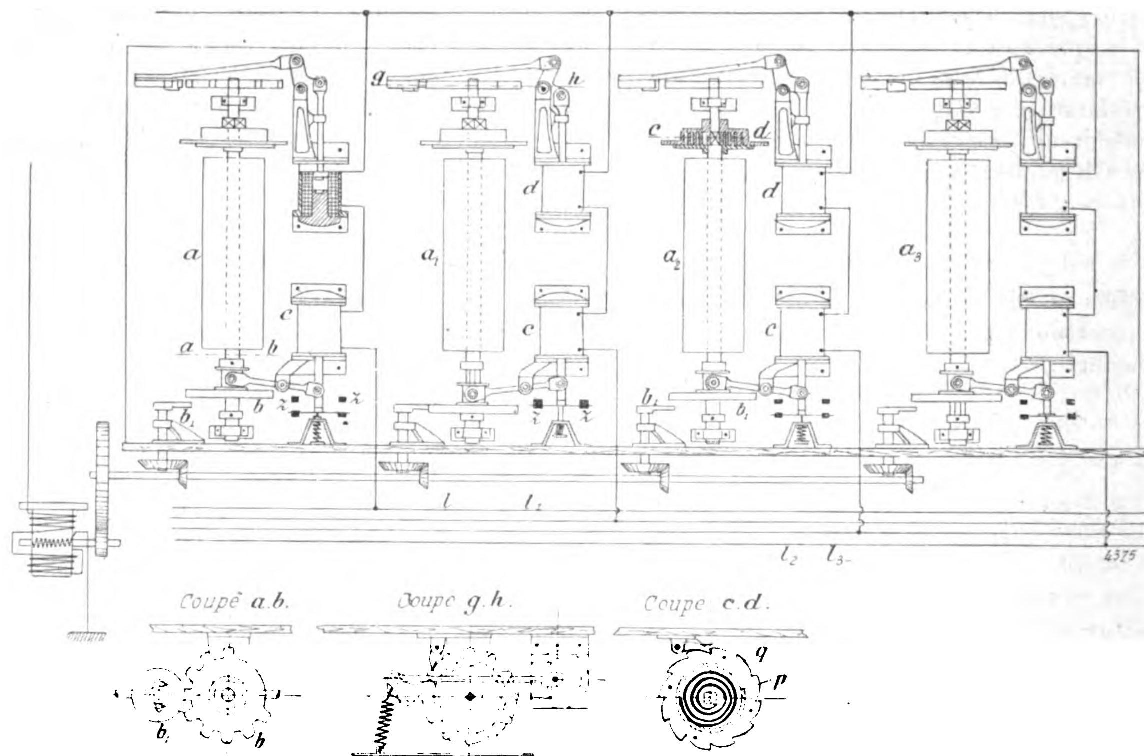



Fig. 2 à 5. — Combinateurs d'une voiture.

motrice, les autres des détails de construction.

Les 4 cylindres commutateurs $a\ a_1\ a_2\ a_3$ communiquent au moyen des fils $l\ l_1\ l_2\ l_3$ avec les commutateurs $s$ et $s_1$ et avec les autres voitures du train.

Le pignon $b$ peut engrener avec la roue à

loquet $b_1$ (coupe fig. 3); l'embrayage s'effectue au moyen de l'électro *c*. Les 4 solénoïdes ont un pôle commun réuni à la terre à travers le servomoteur; les autres pôles communiquent respectivement avec un des fils *l*. Les armatures déplacent enfin les contacts *z* qui connectent les cylindres aux moteurs principaux.

Les commutateurs à main *s* et $s_1$ qui se trouvent sur chaque plate-forme envoient au moyen des prises *f* du courant sur les 4 fils *l*, les 4 positions correspondant à la marche avant et arrière et au freinage dans les deux sens.

En mettant par exemple le commutateur *s* sur la position *n* (fig. 1) le conducteur enverra à travers *s* et *t* du courant partant de *f* et retournant à la terre à travers les servomoteurs des voitures par le fil commun.

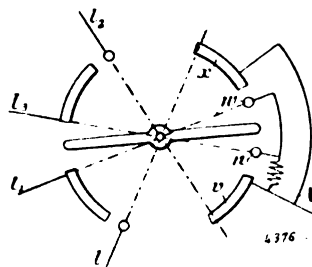



Fig. 6.

Dans chaque voiture donc le pignon du premier cylindre engrènera avec la roue à loquet

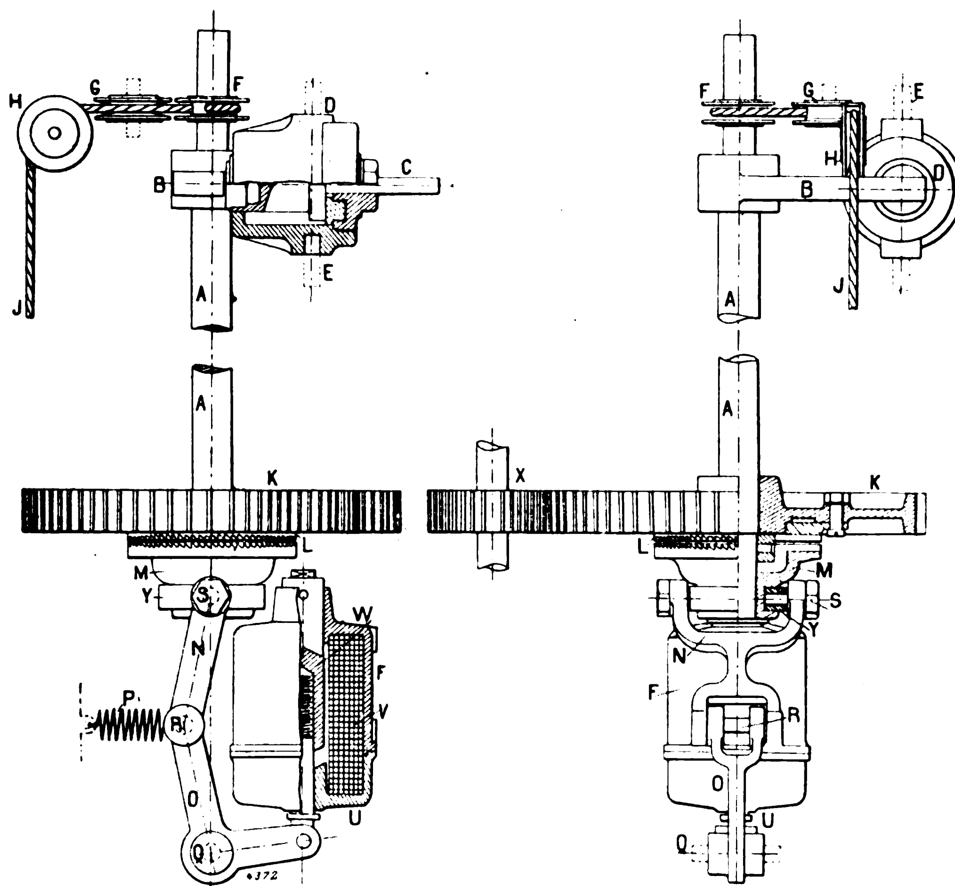



Fig. 7 et 8. — Combinateurs des voitures de la ligne Karlsruhe-Ettlingen.

et il y aura connexion électrique entre le cylindre et les moteurs principaux au moyen des contacts *z*. Comme le servomoteur tourne, les premiers cylindres effectueront une révolution : on peut ainsi commander ces derniers par les commutateurs à main.

La figure 4 est une coupe *gh* à travers un dispositif à loquet qui oblige le cylindre à aller

de contact en contact sans s'arrêter dans l'intervalle.

Le retour automatique du contrôleur est obtenu au moyen d'un ressort fixé à une boîte *p*. Les dents *q* et le rochet servent au réglage de la tension (fig. 5).

Le cylindre est réuni à l'extrémité intérieure du ressort et le comprime par son mouvement.

Dès que le courant cesse les roues *b* et $b_1$ (fig. 3) sont débrayées et le ressort ramène le cylindre en arrière.

Les 2 commutateurs *s* et *t* peuvent être réunis en un seul comme le montre la figure 6. Les contacts *n* et *w*, *v* et *x* correspondent à la marche avant et arrière et aux freinages dans les deux sens.

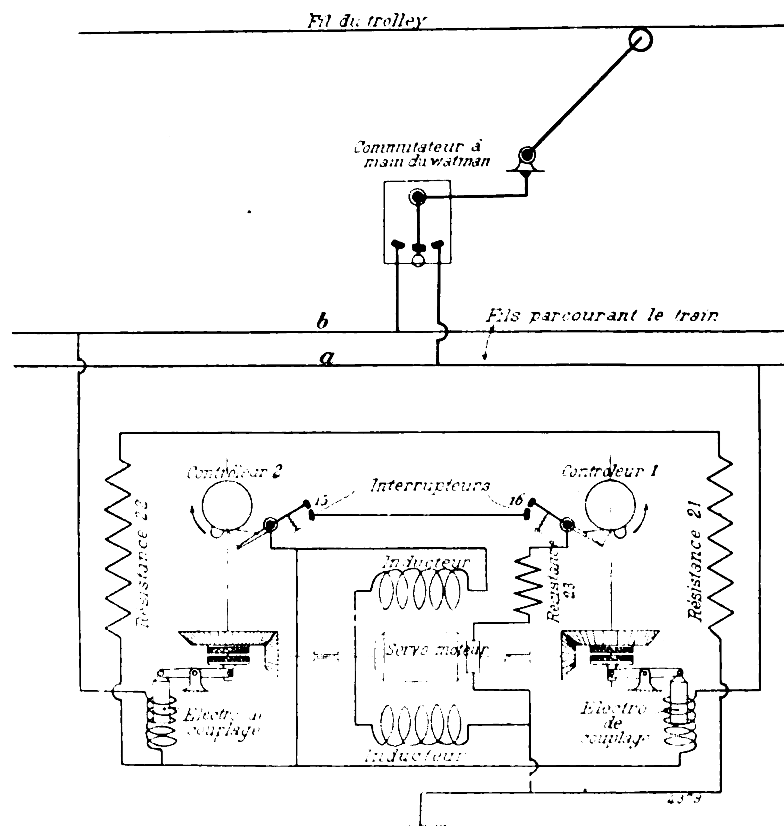



Fig. 9. — Schéma des connexions d'une voiture.

Des simplifications peuvent être apportées aux dispositifs décrits, on peut se proposer, ainsi de réduire les 4 cylindres à un seul.

Le principe de ces combinateurs a été appliqué pour ceux de la ligne Karlsruhe-Ettlingen ; ils sont à deux cylindres ; le freinage électrique n'est pas employé.

Les figures 7 et 8 montrent le détail de l'embrayage et le retour automatique du cylindre.

D est un petit frein à air comprimé actionné par le bras B et destiné à amortir le choc du cylindre dans le mouvement automatique de retour. Celui-ci est obtenu ici par un ressort fixé à la cordelette J.

A la partie inférieure de l'arbre est fixée la moitié d'un embrayage à dents M qui peut venir engrener avec l'autre moitié K qui est folle sur l'arbre. Les mouvements de l'électro sont transmis par le levier coudé NO.

La roue K est commandée par un engrenage X mis lui-même en mouvement par une vis sans fin montée sur l'arbre du servomoteur.

La figure 9 est un schéma du montage électrique d'une voiture motrice, abstraction faite des moteurs principaux qui n'importent pas dans ces questions de régulation.

Le commutateur à main étant sur la position moyenne, il n'y a pas de courant ; si on le met

sur le contact de droite, le courant s'en va par le fil *a* à l'électro de couplage, puis à la terre en se divisant en trois parties, l'une passant par les résistances 21 et 22, l'autre par les inducteurs du servomoteur, la dernière enfin par deux interrupteurs 15 et 16, la résistance 23 et l'induit du servomoteur.

Le contrôleur 1 se met en mouvement dans le sens de la flèche ; en fin de course l'interrupteur 16 est ouvert ; l'induit est arrêté, mais le cylindre ne revient pas, car l'électro reste excité ; ce n'est qu'en coupant le courant au commutateur à main qu'on supprime l'embrayage. Le cylindre abandonné au ressort est alors seulement ramené automatiquement en arrière.

L'avantage d'un pareil système réside dans la facilité avec laquelle on réalise telle gradation de vitesse qu'on veut sans faire appel à l'attention du watman qui n'a qu'à manœuvrer son commutateur à main et peut se consacrer aux signaux et au frein mécanique.

L'emploi de plusieurs voitures motrices diminue le danger de rupture d'attelage. La General Electric C° a pu ainsi supprimer dans un train d'essai tout accouplement mécanique.

C. Battegay.

**Énergie consommée par une voiture de tramway**, par **E. Volkers**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 480, 13 juin 1901.

La consommation en wattheures par voiture de tramway et par kilomètre franchi dépend de facteurs tels que l'habileté et la bonne volonté du conducteur, l'intensité du trafic, la circulation dans les rues, l'état de la voie. La connaissance de cette consommation s'acquerra donc difficilement *à priori* ; elle aurait cependant un grand intérêt pour un constructeur, par exemple dans le cas d'un cahier des charges prévoyant une dépense d'énergie électrique minimum.

L'auteur développe ces idées au début de son étude, puis il considère séparément :

1° Le travail de frottement des roues de roulement sur les rails, le frottement des essieux dans les boîtes à graisse et le frottement des engrenages.

2° Le travail de la résistance de l'air.

3° Le travail équilibré en rampe par celui de la pesanteur.

4° Le travail absorbé par les freins aux arrêts.

*Frottement*. — On a mesuré le travail de frottement par une méthode d'amortissement ; la résistance de l'air a été éliminée en lançant la voiture aux faibles vitesses de 1 ou 2 m par seconde.

Si on appelle $v$ la vitesse au moment où on supprime le courant,

$k$ la résistance de frottement en kg par tonne,

$l$ le chemin parcouru pendant la période d'amortissement, on a

$$\frac{1}{2}\frac{1\,000}{g}\cdot v^2 = kl \text{ et comme } v = 2\frac{l}{t}\ (^1)$$

$$\frac{2000}{g}\cdot\frac{l^2}{t^2} = kl \qquad k = \frac{2\,000}{g}\frac{l}{t^2}.$$

L'état des roues de roulement et des sabots de frein a une grande influence sur $k$. Ainsi on a vu monter $k$ pour une même voiture à 4 essieux de 5 kg tonne à 7,8 kg tonne.

En courbe, $k$ augmente sensiblement et d'autant plus que le rayon est plus petit et l'écartement des essieux plus grand. Mais comme la valeur moyenne du coefficient de frottement n'en est pas beaucoup altérée, l'auteur conseille de négliger, à ce point de vue, les courbes et propose pour $k$ les valeurs suivantes :

| | Valeurs de $k$ pour | |
|---|---|---|
| | Attelage et partie de la voiture motrice ne reposant pas sur les essieux moteurs. | Poids porté par les essieux moteurs. |
| | Kg t. | Kg t. |
| Voie très propre, en grande partie en alignement droit. (Rues asphaltées ou parfaitement pavées). . . | 1 à 1,3 | 2,8 à 3,1 |
| Voie moyennement propre. (Rues pavées ou en macadam) . . | 1,3 à 2 | 3,1 à 3,8 |
| Voie posée sur route . | 2 à 5 | 3,8 à 6,8 |

(1) Les courbes de vitesses ont été enregistrées avec un appareil Morse dont l'électro était mis en mouvement 2 fois par tour par un contact fixé sur l'essieu. On a trouvé

*Résistance de l'air.* — L'air oppose, même à des voitures de tramways marchant aux vitesses de 12 à 30 km par heure, une résistance sensible qui peut être représentée par $P = 0{,}12248\ Fv^2$ où $v$ désigne la vitesse du véhicule relativement à l'air ambiant en mètres par seconde et où F est la surface offerte au vent. Par un temps calme elle se confond avec la projection de la voiture sur un plan normal à la trajectoire, mais elle devient difficile à évaluer quand il fait du vent dont la direction relative varie à chaque instant. Il faudrait d'ailleurs tenir compte des tourbillonnements produits sur les côtés et à l'arrière de la voiture. L'expérience montre qu'on arrive à de bons résultats en prenant pour F 7 m² dans le cas de voitures motrices et 2,5 m² pour les attelages de construction normale. On peut ainsi au moyen de la formule ci-dessus dresser le tableau (A).

| VITESSE de la voiture en km-heure. | RÉSISTANCE DE L'AIR EN KG | |
|---|---|---|
| | Voiture motrice. | Attelage. |
| 4 | 0.96 | 0.37 |
| 6 | 2.16 | 0.83 |
| 8 | 3.84 | 1.47 |
| 10 | 6 | 2.30 |
| 12 | 8.65 | 3.32 |
| 14 | 11.75 | 4.50 |
| 16 | 15.33 | 5.88 |
| 18 | 19.45 | 7.45 |
| 20 | 24 | 7.20 |

*Travail en rampe.* — Le travail dépensé en rampe est égal au produit de la différence de niveau par le poids du véhicule.

On ne récupère pas en général d'énergie à la descente, on coupe le courant si la tangente trigonométrique de l'angle de pente est égale ou supérieure au coefficient de résistance passive. Cela a lieu pour les rampes de plus de 6 p. 100.

Pour les rampes plus faibles on consomme du courant à l'aller et au retour, on pourra dans un avant-projet les assimiler à des paliers. Quant à celles qui sont supérieures à 6 p. 100, on évaluera la différence de niveau totale ; l'ordre de parcours est, en effet, indifférent pour la consommation d'électricité.

Dans le cas de la figure 1 on confondra B + C + F + H avec un palier de 1 800 m et A + D + E + G avec une rampe de 2 000 m pour une différence de niveau de 81 m.

Il est à remarquer qu'on ne consomme pas de courant à la descente de cette rampe ; le frottement et la résistance de l'air devront donc être négligés pour cette période du parcours. Ainsi si on fait provisoirement abstraction des arrêts

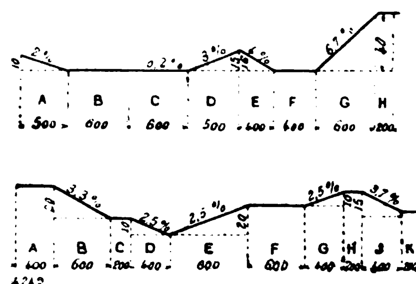


Fig. 1 et 2.

il faudra (fig. 1), pour un voyage d'aller et retour, équilibrer les résistances passives sur une longueur de 2 × 1 800 + 2 000 = 5 600 m et élever le véhicule de 81 m.

*Freinage.* — Au moment des arrêts on use dans les freins une quantité d'énergie $\frac{Mv^2}{2}$. — M est la masse de la vitesse,

$v$ la vitesse finale, c'est-à-dire celle qu'elle aurait au passage de la station si on ne freinait pas.

Les pertes dues au freinage peuvent être considérables et dépendent du mécanicien. Dans la pratique il s'agit de les réduire autant que possible tout en respectant l'horaire fixé. Un démarrage rapide fera gagner du temps au départ et permettra d'utiliser la force vive à l'arrêt en coupant simplement le courant.

Dans les tableaux qui suivent les pertes aux arrêts ont été caractérisées par $v_2$ vitesse finale. Celle-ci a été calculée sur la base d'une accélération de 0,4 à 0,7 m : sec.

*Rendement des moteurs.* — Pour arriver à l'énergie empruntée au réseau, il faut tenir compte du rendement des moteurs. Mais il est à remarquer que sur une grande partie du trajet les résistances intercalées pour diminuer la vitesse diminuent aussi le rendement. On

que la vitesse était représentée par une droite ; d'où $v = 2\frac{l}{t}$.

l'améliorera par l'emploi du couplage en série parallèle. Pour une vitesse moyenne de 12 km : et 4 stations par kilomètre, on a trouvé souvent un rendement total de 59 à 60 p. 100 [1].

Dans les tableaux suivants, V est la vitesse moyenne en km : h. entre les points terminus de la ligne.

$v_1$ vitesse moyenne en km : h. entre les arrêts ;

$v_2$ vitesse maxima en mètre sec. ;

$v_3$ vitesse finale en mètre sec. ;

$v_4$ vitesse en km : h. à employer dans la formule de la résistence de l'air.

$t_1$ temps disponible pour aller d'une station à la suivante.

$t_2$ arrêt en secondes.

$t_3$ durée du voyage entre 2 stations $= t_1 - t_2$.

Z nombre de stations par kilomètre.

$l$ distance en mètres entre 2 stations.

| Z | $t_1$ | $t_2$ | $t_3$ | $v_1$ | $v_2$ | $v_3$ | $v_4$ | $l$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **I. — V = 10.** | | | | | | | | |
| 3 | 120 | 13 | 107 | 11,2 | 3,9 | 2,8 | 13 | 333 |
| 4 | 90 | 12 | 78 | 11,6 | 4,2 | 3 | 14 | 250 |
| 5 | 70 | 11 | 59 | 12,2 | 4,5 | 3,3 | 15 | 200 |
| 6 | 60 | 10 | 50 | 12 | 5 | 3,9 | 17 | 167 |
| **II. — V = 12.** | | | | | | | | |
| 3 | 100 | 11 | 89 | 13,5 | 4,4 | 3,3 | 15 | 333 |
| 4 | 75 | 10 | 65 | 13,8 | 4,7 | 3,6 | 16 | 250 |
| 5 | 60 | 9 | 51 | 14,1 | 5,1 | 4 | 17 | 200 |
| 6 | 50 | 8 | 42 | 14,8 | 5,7 | 4,5 | 19 | 167 |
| **III. — V = 14.** | | | | | | | | |
| 3 | 86 | 11 | 75 | 16 | 5,7 | 3,9 | 18,5 | 333 |
| 4 | 64 | 10 | 54 | 16,7 | 5,9 | 4,4 | 20 | 250 |
| 5 | 51 | 9 | 52 | 17,2 | 6,4 | 5,1 | 22 | 200 |
| 6 | 43 | 8 | 35 | 17,2 | 7 | 5,8 | 24 | 167 |
| **IV. — V = 16.** | | | | | | | | |
| 2 | 112 | 11 | 101 | 17,8 | 6,1 | 4,4 | 20,5 | 500 |
| 3 | 75 | 10 | 65 | 18,5 | 6,5 | 5,5 | 22 | 333 |
| 4 | 56 | 9 | 47 | 19,2 | 7 | 5,6 | 24 | 250 |
| 5 | 45 | 8 | 37 | 19,4 | 7,6 | 6,4 | 26 | 200 |

*Application à un exemple.* — La figure 2 représente le profil d'un parcours de 4200 m. La vitesse moyenne sera de 14 km-heure, il y a 4 stations par kilomère. L'exploitation se fera au moyen de trains composés d'une voiture motrice et d'un attelage. Leurs poids respectifs sont, à vide, 8 tonnes et 3 tonnes, avec charge moyenne 9,5 tonnes et 4,5 tonnes. La voie est posée dans des rues la plupart macadamisées.

Les paliers A + C + F + H + K forment une longueur totale de 1600 m, les rampes B + D + E + G + I s'étendent sur 2600 m avec une différence de niveau de 20 + 10 + 20 + 10 + 15 = 75 m.

Dans un voyage complet les moteurs auront à surmonter la résistance à la traction sur une longueur de $2 \times 1600 + 2600 = 5800$ m.

Au point de vue des pertes réelles dues au freinage tout se passe comme s'il y avait $5,8 \times 4 = 23,2$ stations.

La résistance de frottement de la voiture motrice est de $9,5 \times 3,8 = 36$ kg, celle de l'attelage $4,5 \times 2 = 9$ kg.

Le travail total sera donc $(36 + 9)\ 5800 = 261000$ kgm.

Pour la résistance de l'air on prend le $v_4$ du tableau III, c'est-à-dire 20 km : h; d'où une résistance pour le train de $24 + 9,20 = 32,2$ kg (tableau A).

Le travail correspondant est $33,2 \times 5800 = 193000$ kgm.

Le travail de la pesanteur est $(9,5 + 4,5) \times 1000 \times 75 = 1050000$ kgm.

La perte due au freinage est :

$$23,2 \times \frac{14000}{9,81} \times \frac{(4,4)^2}{2} = 314000 \text{ kg environ,}$$

la vitesse $v = 4,4$ et le $v_3$ du tableau III.

Au total on dépense donc dans un voyage complet $261000 + 193000 + 1050000 + 314000 = 1818000$ kgm ou bien 8020 watts-heure en admettant pour les moteurs un rendement moyen de 62 p. 100. Cela fait par kilomètre parcouru une consommation de $\frac{8020}{8,4} = 955$ watts-heure.

C. Battegay.

[1] Dans ces essais un autre appareil Morse était commandé par l'arbre d'un compteur Thomson. On a pu ainsi déterminer à 2 1/2 watts-heure près l'énergie dépensée et correspondant à la courbe des vitesses tracée par l'autre Morse.

***Dispositifs de protection contre les accidents de tramways***, par **Kosoh**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 84, 30 janvier 1902.

L'auteur étudie les appareils destinés à recueillir sans blessures dangereuses, les personnes se

trouvant accidentellement sur la voie d'un tramway, soit couchées sur le sol dans une position quelconque, soit placées debout, le visage tourné vers la voiture qui vient ou en sens inverse.

On ne peut pas considérer comme remplis-

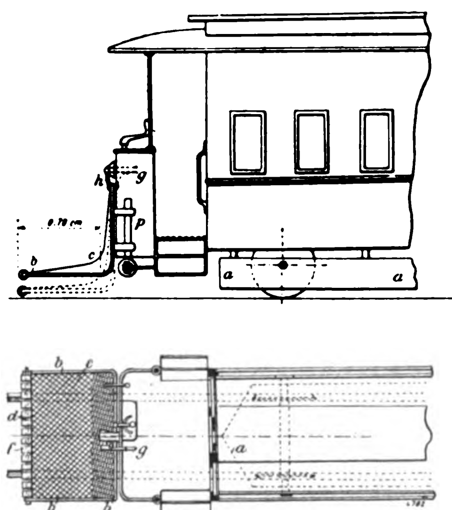


Fig. 1 et 2.

sant ce rôle, les protecteurs constitués par un châssis hexagonal allongé, en tôles placées sur champ, à une distance de 6 ou 7 cm au-dessus de la chaussée, qui entoure les roues et les moteurs (*a*, fig. 1 et 2). Ce châssis peut seulement servir à écarter un gros objet, pierre ou

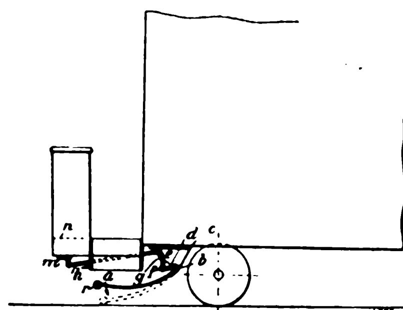


Fig. 3.

autre, et à empêcher les roues de passer par dessus ; mais il est susceptible de blesser fortement une personne tombée sur la voie.

L'auteur répartit en trois classes les appareils imaginés dans ce but : 1° les appareils placés en avant de la plate-forme antérieure du véhicule ; 2° les appareils placés sous la voiture, en avant des roues ; 3° les appareils mobiles, se déployant en avant au moment du besoin.

Les figures 1 et 2, représentent un dispositif de la première classe : il se compose de barres recourbées à l'angle droit *b*, reliées entre elles

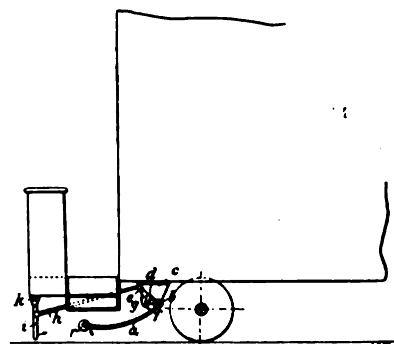


Fig. 4.

transversalement et portant un filet. La partie verticale est fixée à la paroi avant de la plateforme ou à un support secondaire du châssis de la voiture : la barre transversale avant porte une série de petites roulettes *f* ou un rouleau unique en caoutchouc plein ou à air comprimé : le filet est complètement fixe, avec les roulettes placées aussi près que possible de la chaussée, ou mobile, ordinairement relevé et maintenu en place par un levier *h g*, que le conducteur déclenche à volonté, le déclenchement peut être rendu automatique, se produisant lorsque le conducteur amène la manette du controller sur les plots de freinage.

A la deuxième classe appartiennent les filets disposés en avant des roues, sous le plancher de la voiture (fig. 3 et 4).

Il faut alors que l'escalier avant, servant à la montée des voyageurs, soit mobile et relevé en cours de route. La corbeille se compose de tiges recourbées *a* (fig. 3) entretoisées et portant un filet. Et *b*, se trouve l'axe autour duquel tourne le châssis, fixé à une plaque *c*, solidaire de la caisse ; la barre transversale inférieure porte une série de roulettes *r* ; à la plaque *c* est aussi fixé l'axe *g* d'un levier coudé *ef* ; le bras *e* est relié à une tige *h*, commandée soit par le conducteur au moyen d'un levier *mn* (fig. 3), soit automatiquement par une tige *ki*, placée en avant et heurtée par le corps à recueillir (fig. 4) ; le second bras *f*, du levier *e f*, forme un crochet qui maintient soulevé en temps normal le filet,

et le laisse s'abaisser quand on agit sur la tige $h$.

La figure 5 donne la vue d'un appareil se déployant en avant par déclenchement. Sous le milieu

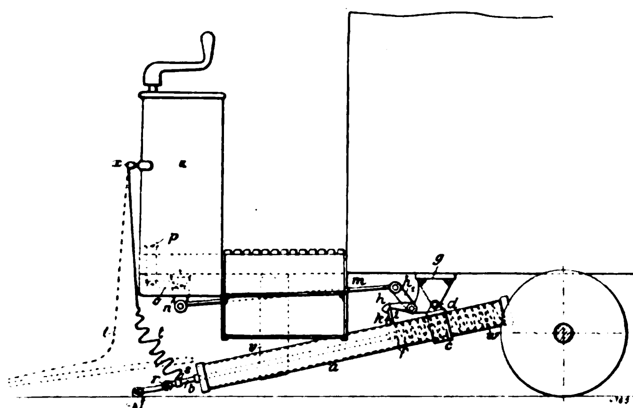


Fig. 5.

de la voiture se trouve un étrier $g$, portant un tourillon $d$, autour duquel se meut un tube $a$. Ce tube est terminé à l'avant et à l'arrière par deux couvercles : dans l'intérieur se déplace

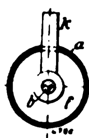


Fig. 6.

un plateau $f$, muni d'un taquet $k$, passant à l'extérieur du tube par une fente longitudinale (fig. 6) ; le plateau actionné par un ressort $w$, est maintenu en place par le taquet $k$, et le crochet $h$,

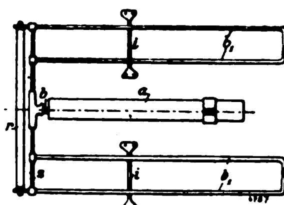


Fig. 7.

d'un levier coudé, que commande, au moyen d'une biellette $mn$, un bouton $p$, placé à portée du conducteur ; le plateau porte une tige $b$, reliée transversalement à des tiges $b_1$ placées des deux côtés du tube (fig. 7), par une tige $s$, précédée d'un rouleau $r$, en caoutchouc. Quand on appuie sur le bouton $p$, le taquet $k$, est mis en liberté, la tige $b$ est projetée en avant avec le filet dont elle est solidaire.

La commande peut être rendue automatique (fig. 8 et 9), au moyen d'un cordon placé sur des poulies $r_1$, qui fait basculer le levier $hh_1$, lors de la rencontre d'un corps placé sur la voie.

D'après l'auteur la meilleure disposition est celle qui rentre dans la classe 1 (fig. 1 et 2), la

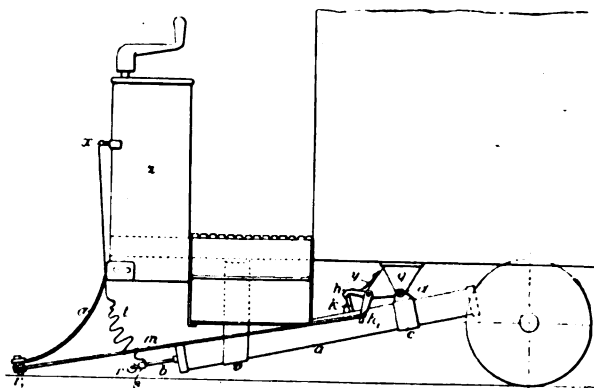


Fig. 8 et 9.

plus mauvaise est celle de la classe 2, où les appareils sont placés sous la voiture ; quant aux appareils à lancement brusque en avant, ils sont moins mauvais, mais leur complication est trop grande et ils peuvent dans beaucoup de cas arriver trop tard pour produire un bon résultat.

Il vaut mieux s'en tenir aux filets placés en avant de la voiture, en donnant à la partie horizontale une longueur suffisante, au moins 70 cm.

En terminant, l'auteur donne la description du dispositif employé par la Compagnie des grands tramways de Berlin : la figure 10 est une coupe longitudinale, la figure 11, une de vue face des appareils. Le dispositif comporte un filet $b$, fixé à un coin en bois $a$, sous la caisse de la plate-forme, portant en avant 15 roulettes de 53 mm de diamètre. Des bandes de fer $g$, d'environ 1 mm d'épaisseur, forment tampon et adoucissent le choc contre une personne placée debout sur la

voie ; les barres *h* offrent la facilité à une personne, voyant venir la voiture et n'ayant pas le temps de l'éviter, de se maintenir debout,

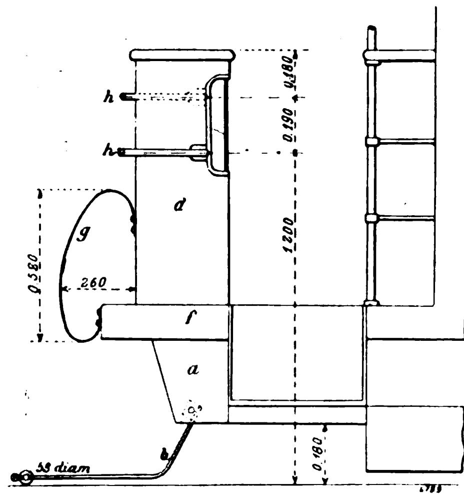



Fig. 10.

protégée contre un choc trop violent par les ressorts *g* ; si la personne manque les barres *h*, elle est renversée et tombe dans le filet inférieur.

La figure 12 montre le détail d'une extrémité

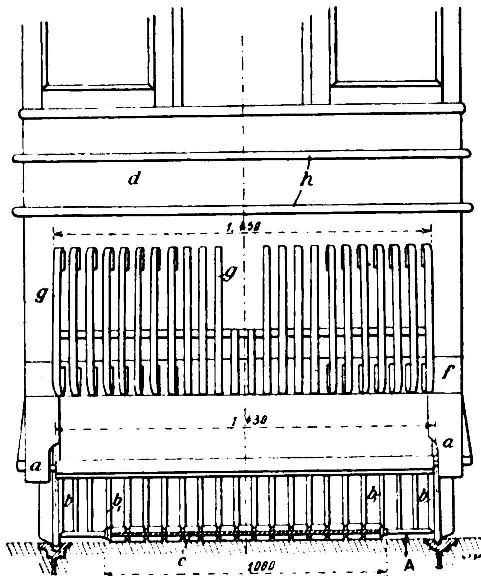



Fig. 11.

du filet : ce filet est relevé normalement, le conducteur l'abaisse à volonté, en cas de danger, par une manœuvre du pied.

Ce dispositif est loin d'être parfait : il est particulièrement à craindre, d'après l'auteur, qu'un homme placé en A (fig. 11), ne soit repoussé

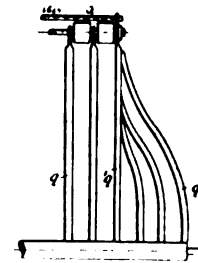



Fig. 12.

longitudinalement, au lieu d'être cueilli par le filet, large seulement de 1 m, et ne vienne passer sous une des roues avant. A. M.

***Chasse-corps et protecteurs de voitures de tramways,*** d'après le compte rendu des travaux de l'**Union des tramways d'Allemagne** donné dans la *Circulaire de l'Union des tramways de France* du 25 mars 1902.

Au Congrès qui a eu lieu à Stuttgart en septembre dernier, l'une des questions en discussion était celle des avantages ou inconvénients que présentent les différents dispositifs protecteurs destinés à empêcher la chute de personnes sous les tramways en marche, ou du moins leur écrasement par la voiture.

Cette discussion était préparée par un rapport de M. Poetz, ingénieur en chef des tramways de Hambourg, rapport établi d'après les documents envoyés par les diverses compagnies allemandes.

Il résulte de ce rapport, dont les conclusions sont reproduites ci-dessous *in extenso* [1], que le dispositif de protection le plus couramment

[1] Conclusions du rapport de M. Poetr. — Après cet exposé méthodique des réponses faites à notre enquête, je puis d'autant mieux me demander si l'opinion dont j'étais partisan en 1897 est encore exacte aujourd'hui, c'est-à-dire si elle ne doit pas être corrigée ou complétée, à la suite des expériences faites depuis lors. Conformément aux résultats de l'enquête poursuivie par l'Union internationale des tramways, je citais alors, comme étant les dispositions préventives les plus efficaces :

1° Des conducteurs vigilants ;

2° Des freins solides et prompts ;

3° Des chasse-corps immédiatement à l'avant des roues,

en usage en Allemagne est un simple chasse-corps placé à l'avant des voitures motrices et constitué par une planche verticale perpendiculaire à l'axe de la voie, ou par deux planches

---

solidement fixés au châssis métallique, et à peu de distance du sol.

Il n'est pas besoin d'expliquer longuement pourquoi des conducteurs attentifs et des freins solides et rapides sont indispensables à la sécurité des passants. Il faut, au contraire, se demander si les expériences faites jusqu'à ce jour dans l'exploitation des tramways démontrent que les chasse-corps fixes doivent être remplacés par quelque autre dispositif.

La plupart des Compagnies ont été satisfaites de ces appareils. D'autres en ont obtenu de bons et de mauvais résultats. Quelques-unes enfin les repoussent complètement. Si nous cherchons, à l'aide des réponses au questionnaire, jusqu'à quel point la condamnation prononcée par ces compagnies est justifiée, nous trouvons que le chasse-corps, lui-même, est cause d'un grand nombre d'accidents, parce qu'il passe sur la victime, en la serrant violemment contre le sol, ou même en l'écrasant.

D'après les réponses que nous avons reçues, l'espace entre le chasse-corps et le pavage varie, selon les compagnies, entre 5 et 10 cm. En pratique, on trouve certainement des intervalles de 15 cm et même plus. Une société, en particulier, qui augure défavorablement des chasse-corps, semblerait, si l'on en juge par les quelques photographies qu'elle a jointes à ses réponses, tolérer un intervalle très considérable. Il me semble que les compagnies dont les expériences ont été défavorables aux chasse-corps les ont placés à une trop forte distance du sol. Ceci peut se justifier, dans des cas isolés, par l'extrême irrégularité du pavage, les chasse-corps étant d'autant plus fréquemment brisés qu'ils se trouvent plus près d'un pavage aux aspérités nombreuses. D'autre part, dans l'intérêt du public, une distance dépassant 7 ou 8 cm ne devrait pas être tolérée, cette disposition rendant beaucoup plus probable le fait que l'appareil passera par-dessus le corps de la personne qui tombe à terre devant la voiture; fait certain, si l'intervalle atteint 15 cm.

Il résulte en outre des réponses au questionnaire que les chasse-corps passent par-dessus les personnes (au lieu de les jeter au bord de la voie ou même de les pousser en avant) surtout lorsque la voiture est lancée à une grande vitesse. Il est donc de toute nécessité de munir chaque voiture d'un frein énergique, de façon qu'une personne tombant sur la voie ne soit que légèrement atteinte par le chasse-corps placé devant les roues.

Quelques sociétés font valoir contre les chasse-corps le fait que, très souvent, des personnes s'en seraient tirées saines et sauves si le dispositif n'avait pas existé. On peut répondre que presque toutes les voitures motrices projettent leurs moteurs et boîtes à engrenages jusqu'à 10 ou 20 cm du sol, et immédiatement à l'arrière des chasse-corps, de sorte que les personnes blessées par cet appareil auraient été sans lui écrasées, soit par l'enveloppe des engrenages, soit par la boîte du moteur.

Il est indiscutable que les chasse-corps ont très fréquemment sauvé des personnes en danger de mort. Evidemment la victime sera parfois contusionnée, voire même broyée, parce que l'appareil est placé trop loin du sol, ou aussi parce que le conducteur n'aura pas freiné à temps. Il est très rare qu'on puisse dire que, sans le chasse-corps, on aurait évité même des blessures. Il est donc absolument faux de se baser sur ces faits isolés pour dénier absolument aux chasse-corps la qualité d'appareils de sûreté, ce qui serait seulement le cas si l'un quelconque des autres appareils connus offrait plus de garanties, c'est-à-dire si un plus fort pourcentage des victimes d'accidents avaient été sauvées.

On doit donc chercher si l'un des systèmes d'appareils protecteurs actuellement en usage est sous ce rapport préférable au chasse-corps ordinaire. On rencontre tout d'abord les dispositifs employés par les tramways de Hanovre, ceux de Remscheid et ceux de Hambourg; sur les autres, on n'a pas encore de renseignements exacts.

D'après les communications qui nous ont été adressées par les tramways de Hanovre, on constate en 1900, après l'introduction du nouveau dispositif protecteur, 3 accidents à issue fatale, contre 11 en 1899, année où les chasse-corps habituels étaient encore en usage. A en croire ces chiffres, pour Hanovre, le nouvel appareil l'emporterait de beaucoup sur les anciens chasse-corps. Le chiffre de 11 morts, étant donnée l'étendue du réseau, est en tout cas comparativement fort élevé. On ignore encore les circonstances extérieures qui sont causes de ce nombre extraordinaire d'accidents mortels, auquel la disposition spéciale des chasse-corps n'est peut-être pas étrangère. En fait, les résultats obtenus à Hanovre à l'aide des nouveaux appareils protecteurs n'ont certainement rien de bien transcendant, si on compare le nombre des accidents survenus sur ces lignes avec les chiffres relevés dans d'autres villes, où les chasse-corps sont en usage.

Ainsi, un rapprochement avec les accidents survenus sur le réseau de Hambourg donne les résultats suivants : La statistique officielle de l'Union des tramways enregistre pour Hanovre, en l'année 1900, en prenant seulement les passants atteints par l'extrémité antérieure de la voiture, 3 cas de mort et 4 de blessures graves; par contre, les tramways de Hambourg ont tué 3 personnes et grièvement blessé 5 autres. Les tramways de Hanovre ont parcouru, dans le même espace de temps, 9 168 254 trains-kilomètres, ceux de Hambourg 21 799 289. Proportionnellement donc, en dépit des nouveaux dispositifs de protection, les tramways de Hanovre ont occasionné 2,4 fois autant d'accidents mortels ou de graves blessures que ceux de Hambourg. Il faut remarquer ici que les tramways de Hambourg possèdent le chasse-corps habituel sur plus de 400 voitures motrices, et sur 20 seulement les appareils plus perfectionnés.

Également très dignes de notre attention sont les communications faites par les tramways de Posen, d'où il résulte que, comme dirait la statistique de Hanovre, sur 33 personnes en danger d'être écrasées, 32 ont été sauvées et une seulement a succombé.

Les rapports communiqués par les tramways de Remscheid ne permettent pas de conclure si les appareils qu'on y emploie sont supérieurs aux chasse-corps ordi-

verticales également inclinées par rapport à cet axe de manière à former un éperon à angle très obtus. Toutefois sur la demande des municipalités certaines compagnies ont mis en essai quelques autres dispositifs tels que filets ramasse-corps fixés immuablement à l'avant de la voiture ou s'abaissant à la volonté du conducteur, coussins élastiques garnissant l'avant du véhicule et amortissant le choc des personnes atteintes par le tramway, barres horizontales permettant à ces personnes de se suspendre au véhicule dont elles n'ont pu se garer assez vite.

Le rapporteur reconnaît que les chasse-corps, bien qu'ayant fréquemment sauvé des personnes en danger d'être écrasées par le tramway, ne donnent pas toute satisfaction. Souvent les inégalités du pavage forcent à les placer à une trop grande hauteur au-dessus du sol et alors la vic-

---

naires. Au début de l'exploitation, ceux-ci étant exclusivement employés, 4 enfants furent mortellement blessés. Plus tard, 6 personnes ont été cueillies par les nouveaux appareils, 4 ont passé par-dessous. Un dispositif qui passe simplement par-dessus 40 p. 100 des victimes n'offre pas de bien grandes garanties, cela va de soi. Par contre, les 4 morts survenues au début de l'entreprise ne prouvent rien quant à l'efficacité des chasse-corps, étant données les conditions extrêmement défectueuses de Remscheid au point de vue de l'exploitation, et aussi l'inexpérience des conducteurs et du public.

En ce qui concerne les appareils en usage à Hambourg, qui comme nous l'avons dit plus haut, ont été, à titre d'essai, ajustés à une vingtaine de voitures motrices, l'expérience qui en a été faite ne laisse en rien présager qu'ils supplantent jamais les chasse-corps employés jusqu'ici.

Si nous résumons les résultats de notre enquête, nous pouvons conclure que de tous les dispositifs de sûreté employés en Allemagne, hors les chasse-corps ordinaires, aucun ne lui est préférable. On pourrait aussi ajouter que, même à l'avenir, il sera difficile de trouver un appareil supprimant complètement les chances d'accidents. Tout mouvement engendre le danger et, par la coïncidence de hasards malheureux, la diversité des dangers croît dans de telles limites qu'il est impossible de trouver un appareil éloignant effectivement toute chance d'accident. Il en sera probablement toujours ainsi, que tous les appareils concevables posséderont leurs avantages et leurs inconvénients; bien plus, le même dispositif fonctionnera parfaitement dans certains cas et sera, dans d'autres, cause directe d'accidents.

Pour ce qui est des barres et filets dont les grandes Compagnies de Berlin et de Dresde ont fait l'essai, et qui sont destinés à offrir une prise aux personnes en danger, on en est encore à attendre les résultats.

Pour parer aux accidents résultant du fait de personnes qui, montant et descendant des voitures pendant la marche des trains, tombent et sont écrasées par les remorques, les grilles protectrices employées par diverses compagnies sont de fort peu de secours, parce que, d'une part, elles ne vont pas jusqu'à terre, d'autre part, elles ne peuvent empêcher personne de tomber sur la voie ou même entre les deux rails. (Le moyen le plus efficace de prévenir de pareils accidents serait que toutes les portes d'accès des voitures, sauf la dernière à l'extrémité du train, fussent tenues verrouillées pendant la marche). D'autre part, les mêmes appareils préviennent les accidents résultant du fait de passants qui s'introduisent par distraction entre la voiture motrice et les voitures d'attelage, ou encore de cyclistes qui se précipitent par le même passage. Le premier cas est assurément fort rare; quant aux cyclistes, les filets protecteurs ne leur sont pas toujours d'un grand secours, car il importe de savoir s'ils tombent et comment ils tombent. Tout ce qu'on peut affirmer, c'est que, selon les circonstances, des grilles protectrices appropriées peuvent éviter des accidents.

D'ailleurs, on n'a pas encore fait un nombre suffisant d'expériences pour se prononcer dès aujourd'hui définitivement sur la valeur de ces appareils. En tout cas, la question doit être suivie de près et les expériences multipliées.

On peut donc grouper comme suit les résultats donnés par l'enquête :

1° Des différents dispositifs protecteurs actuellement employés, sur les tramways allemands, aucun n'a encore donné de résultats supérieurs à ceux que donne un chasse-corps fixe placé en avant des roues.

Un bon fonctionnement du chasse-corps ne s'obtient qu'à la condition de le placer à au plus 7 ou 8 cm du pavage et que si la voiture est munie d'un frein fonctionnant parfaitement. En général, la forme en éperon, constituée par deux planches jointes à angle obtus, doit être préférée, comme étant mieux faite pour pousser la victime sur le côté qu'une planche verticale perpendiculaire à l'axe de la voiture. Les cordages dont certaines compagnies munissent le chasse-corps sont certainement superflus et mieux faits pour nuire que pour protéger, attendu qu'ils concentrent le choc sur une surface relativement peu étendue.

On peut consulter avec fruit une proposition de l'Administration centrale des chemins de fer secondaires, Herrmann Bachstein, d'après laquelle toutes les parties du dispositif de sûreté, à l'exception des points d'attache au châssis de la voiture, devraient être faites de bois léger, ce qui permettrait de les briser rapidement et à l'aide d'outils simples, au cas où une personne se trouverait prise sous la voiture.

2° Il est recommandable d'installer des planches de revêtement sur les côtés des voitures, entre les roues, ainsi que de munir les voitures d'attelage de chasse-corps semblables à ceux des voitures automotrices.

3° Relativement à l'installation, sur l'avant des voitures, de barres et de filets destinés à retenir les personnes en danger, et relativement aux treillis protecteurs disposés entre les automotrices et les voitures d'attelage, l'expérience déjà acquise ne permet pas de formuler une opinion définitive.

time est broyée par le chasse-corps ou bien glisse au-dessous de lui et est atteinte par les roues ou l'enveloppe du moteur. Mais il ne pense pas que les autres dispositifs préconisés donnent une meilleure solution; c'est, du moins, ce qu'il lui semble résulter des statistiques des accidents survenus sur les tramways de Hanovre, de Remscheid, de Dresde et de Berlin où sont appliqués ces dispositifs. Aussi conclut-il en faveur du chasse-corps disposé à 7 ou 8 cm du pavage et ayant la forme d'un éperon à angle très obtus.

Pour éviter, ou tout au moins diminuer le nombre et la gravité des accidents provoqués par les voitures remorque, il est d'avis que ces voitures doivent aussi être munies de chasse-corps. Dans le même but il préconise l'installation de planches de revêtement sur les côtés des voitures entre les roues.

La discussion qui suit la lecture de ce rapport s'ouvre par une remarque du rapporteur lui-même. M. Poetz croit devoir ajouter que si ses conclusions sont favorables à l'emploi de chasse-corps, il n'est pas l'ennemi d'essais d'appareils destinés à les remplacer ou à les doubler; en particulier sur le réseau Hambourg dont il est l'ingénieur en chef, vingt voitures ont été depuis quatre ans munies de dispositifs spéciaux en vue de donner satisfaction au public; mais ce sont précisément les résultats peu satisfaisants obtenus avec ces dispositifs qui l'ont amené à douter complètement de leur efficacité.

M. Röhl, président de l'Union et directeur des tramways de Hambourg, qui prend ensuite la parole proteste vivement contre les agissements de certains inventeurs et de la presse quotidienne qui, forts de l'appui du public ne craignent pas de s'adresser directement aux comités de surveillance administrative pour faire imposer aux compagnies exploitantes des essais coûteux dont les résultats négatifs ne peuvent faire aucun doute. Il appuie les conclusions de son ingénieur en montrant les inconvénients des filets protecteurs dépassant l'avant des voitures [1].

M. Krueger, directeur des tramways de Hanovre, cherche à expliquer pourquoi les statistiques de son réseau, citées dans le rapport, accusent un si grand nombre d'accidents. Il les attribue surtout aux lignes de banlieue. Quant aux accidents survenus dans la ville même, il affirme qu'ils sont moins fréquents depuis l'application du dispositif protecteur. Il s'empresse d'ajouter que ce qui réussit dans une ville ne convient pas nécessairement à une autre.

D'autres directeurs protestent à leur tour contre les inventeurs de systèmes et contre la généralisation que les autorités voudraient tenter de l'expérience faite à Hanovre,

---

[1] « On ne les a vus, dit-il, que dans des cas isolés cueillir une personne qui gisait sur les rails; d'ailleurs ces appareils abrègent de 0,50 à 2 m l'espace sur lequel doit se produire l'arrêt, de sorte que la voiture atteint la victime plus tôt, par conséquent plus violemment ...

» On a réclamé de différents côtés un appareil qui, se modelant exactement sur le pavé, ne pût passer par-dessus la victime de l'accident. La question est facile à résoudre lorsqu'on a affaire à un pavé uni, surtout de l'asphalte, mais non pas lorsque le pavé est inégal. On peut, il est vrai, appliquer fortement contre le sol un appareil élastique, mais il ne comblera pas les excavations dues à des pavés fortement déprimés, tandis que la même pression peut briser l'appareil lorsqu'il butte contre une pierre émergeant par trop au-dessus des autres. Même à Stuttgart, malgré le bon entretien de la chaussée, on remarque entre les rails des superficies convexes, planes ou même concaves. L'intervalle qui sépare l'appareil du sol variera donc constamment et nous avons vu que les parties les moins volumineuses du corps, telles que bras et jambes, passent facilement par cette fente. En tout cas, le choc de l'appareil, à lui seul, projette déjà la victime violemment sur la chaussée. Donc la comparaison des chasse-corps ordinaires avec les appareils faisant saillie est à l'avantage des premiers.

» On doit aussi combattre énergiquement le vœu, fréquemment renouvelé ces derniers temps, tendant à l'installation de chasse-corps automatiques. Leur fonctionnement éminemment douteux et que peut d'ailleurs provoquer la moindre petite pierre gisant sur la voie, n'est pas assez prompt pour devancer la chute de l'objet qui le provoque, et les constatations fâcheuses dont ils ont été l'objet ont hâté leur disparition.

» On a voulu y ajouter, par surcroît, les freins automatiques, et on a proposé des appareils capables d'arrêter sur le champ la voiture. Sans parler des dégâts matériels qui en résulteraient certainement, les voyageurs, comme en cas de collision, seraient précipités les uns sur les autres et toutes les Compagnies savent par expérience que les dommages-intérêts sont alors très élevés. Ainsi, en voulant protéger le passant, on fait courir au voyageur un danger très réel. Les maladies nerveuses, suites de pareils accidents, sont uniquement traitables par l'indemnité à fortes doses. Ainsi, les perfectionnements apportés aux freins sont eux-mêmes cause d'un grand nombre d'accidents affectant surtout les recettes des Compagnies . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

M. Koehler, conseiller de Gouvernement, membre de la direction des tramways de Berlin, estime qu'il serait regrettable que les directeurs de tramways pensent n'avoir plus rien à tenter lorsqu'ils ont muni leurs voitures de chasse-corps. Il convient que les filets protecteurs peuvent causer des accidents au lieu de les éviter : ils peuvent provoquer la chute d'une personne qui, en l'absence du filet aurait eu le temps de se garer. Il convient aussi que le dispositif employé à Hanovre ne présente aucun avantage et que les essais qui ont été faits à Berlin avec ce dispositif ont conduit à son rejet. Mais il croit que d'autres dispositifs pourraient donner plus de sécurité et il signale celui auquel s'est arrêtée la Compagnie berlinoise : outre le filet protecteur, il offre deux rampes que l'on peut saisir au moment ou l'on est tamponné; à ce propos l'orateur fait toutefois remarquer qu'il ne pense pas qu'une personne garde, au moment critique, la présence d'esprit nécessaire pour saisir une barre d'appui, cependant elle peut instinctivement s'y cramponner. Quant aux coussins à ressorts disposés à l'avant de la voiture, ils amortissent il est vrai la violence du choc contre le véhicule, mais en raison de leur élasticité ils rejettent violemment la victime contre le sol et cette chute provoque généralement des accidents plus graves que le tamponnement. (Voir plus haut, p. 185 et 186).

Examinant une des conclusions du rapport, il dit qu'il ne pense pas qu'il soit bon de recommander le chasse-corps à éperon de préférence à l'autre. Il critique aussi la recommandation tendant à ce que « toutes les portes des voitures du train, sauf la dernière à l'extrémité du train soient tenues verrouillées pendant la marche », l'application de cette recommandation entraînant nécessairement des difficultés insurmontables dans l'exploitation.

MM. Poetz, Röhl, Kochler reprennent ensuite la parole successivement pour développer quelques commentaires des idées qu'ils ont précédemment exprimées.

Le Congrès passe ensuite au vote des résolutions devant clore la discussion; après diverses observations les résolutions suivantes ont été adoptées :

1° Des différents dispositifs protecteurs actuellement employés sur les tramways allemands, aucun n'a encore donné de résultats supérieurs à ceux que donne un chasse-corps fixe placé en avant des roues.

Un bon fonctionnement du chasse-corps ne s'obtient qu'à la condition de le placer au plus à 7 ou 8 cm du pavage et que si la voiture est munie d'un frein fonctionnant parfaitement.

2° Il est recommandable d'installer des planches de revêtement sur les côtés des voitures, entre les roues, ainsi que de munir les voitures d'attelage de chasse-corps semblables à ceux des voitures automotrices.

3° Relativement à l'installation sur l'avant des voitures de barres et de filets destinés à retenir les personnes en danger, et relativement aux treillis protecteurs disposés entre les automotrices et les voitures d'attelage, l'expérience déjà acquise ne permet pas de formuler une opinion définitive.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

SÉANCE DE PAQUES

*Vendredi 5 avril 1902.*

M. Weiss expose les idées de M. **Bose** sur ***certaines propriétés électriques des métaux.***

M. Bose, savant hindou, professeur au Presidency College de Calcutta s'est fait connaître, il y a déjà plusieurs années, par l'invention d'un cohéreur, constitué par de petites hélices de fil métallique dont on règle le contact au moyen d'une vis. Cet appareil lui a servi, concurremment avec un excitateur qui donnait naissance à de très petites longueurs d'onde, à exécuter une série d'expériences mettant en évidence le parallélisme des ondes électromagnétiques et des ondes optiques; ces expériences ont été connues en France en particulier par la répétition qu'en a faite M. Cornu devant la Société de Physique.

Des expériences plus récentes sur les radioconducteurs ont amené M. Bose à considérer les phénomènes dont ils sont le siège comme un phénomène moléculaire absolument général, dépendant d'une modification allotropique, qui s'exprime par la loi périodique des éléments et se présente pour tous les éléments. La loi embrasse même les isolants, qui deviennent conducteurs dans une certaine modification.

En même temps qu'il était frappé de la généralité de l'effet, M. Bose remarquait la variété des causes qui le produisent : force électromotrice, lumière visible, actions mécaniques. Il fut conduit à remplacer l'action des ondes électromagnétiques par une déformation mécanique et à la révéler par une force électromotrice entre une solution saline et un métal ; l'effet est superficiel et l'observation des phénomènes repose sur un phénomène superficiel.

Mais cette étude n'estqu'une petite partie du sujet qu'embrasse M. Bose ; il s'est aperçu, en effet, que les courbes représentatives de la force électromotrice sont identiques à celles qu'obtiennent les physiologistes dans l'étude des muscles, soumis à des actions, soit électriques, soit mécaniques et engendrant des réactions des deux espèces. *Il y a donc une relation entre les propriétés de la matière inanimée et celles de la matière vivante.*

Le procédé d'observation est toujours le même : on excite un muscle et on enregistre la contraction ou la différence de potentiel entre les deux extrémités ; les deux tracés coïncident toujours quand on opère sur un même muscle ; pour M. Bose, on a bien affaire à deux manifestations d'un même phénomène. Plusieurs projections montrent cette identité de courbes.

Les phénomènes électriques ont, sur les phénomènes mécaniques, l'avantage de permettre de traiter un nerf comme un muscle ; tous les tissus animaux sont excitables par l'électricité. Waller dans son traité sur le cerveau, écrit : *Le signe électrique de la vie* : « Un muscle isolé donne signe de vie en se contractant quand on l'excite... Un nerf ordinaire, relié normalement à ses organes terminaux, donne signe de vie par l'intermédiaire d'un muscle, qui est mis en mouvement par voie directe ou réflexe quand on excite le terme nerveux. Mais ce nerf, séparé de ses limites naturelles, isolé du reste de l'organisme, ne donne pas signe de vie, quand on l'excite, par des modifications qui prennent, soit la forme chimique, soit la forme thermique ; ce n'est que par une modification électrique que nous pouvons reconnaître s'il est, ou non, vivant... Le signe le plus général et le plus délicat de la vie est donc l'excitabilité électrique. »

Il ne faudrait pas comprendre que tout ce qui est vivant réagit et que ce qui est mort ne réagit pas. Au contraire, toute matière peut, d'après M. Bose, exister sous deux états : l'état sensible et l'état insensible ; dans la matière vivante, c'est toujours l'état sensible que la matière choisit pour faire l'objet vivant ; il repasse à l'état insensible par la mort. Dans la nature inorganique, les deux états existent également, mais c'est le savant qui règle l'état sensible ou l'état insensible.

Dans leurs expériences, les physiologistes réunissent les deux extrémités d'un muscle par un galvanomètre ; si l'excitation est centrale et la disposition symétrique, l'effet est nul ; pour obtenir quelque chose on doit détruire la vie d'un côté ; les phénomènes sont alors compliqués par cette dissymétrie préexistante, qui détermine son courant en l'absence de toute excitation. M. Bose exécute une expérience sur une racine de carotte, bouillie à l'une de ses extrémités ; il procède, comme dans tous les cas qui suivront, par torsion et détorsion de la partie vivante, de façon à revenir à l'état initial.

Pour éviter la difficulté précédente, M. Bose a créé *la méthode du bloc* ; la fibre est saisie en son milieu par un petit étau ; on produit une torsion sur l'extrémité que l'on veut pour compenser la dissymétrie accidentelle ; on peut ensuite traiter une extrémité par l'eau bouillante et montrer la mort de la substance. Cette expérience fait rentrer les plantes dans la même catégorie que les êtres vivants.

Pour opérer sur la matière inorganique, M. Bose prend un fil d'étain de 1 mm de diamètre, dont les deux extrémités sont reliées à un galvanomètre par l'intermédiaire de mèches de coton humides et d'électrodes impolarisables ; le circuit contient en outre une résistance en charbon, de plusieurs mégohms ; M. Bose montre la force électromotrice que produit une torsion à droite ou à gauche.

Le but principal des recherches est l'étude générale du parallélisme des phénomèmes que présente la matière vivante et la matière inor-

ganique; il n'y a pas un détail de la façon d'être des muscles que l'on ne retrouve sur le fil métallique. La méthode du bloc peut évidemment servir pour les métaux : M. Bose la modifie progressivement, jusqu'à arriver au dispositif suivant, qu'il considère comme identique dans son essence à celui qui précède. Deux morceaux du même fil sont saisis séparément, à leur extrémité inférieure, au moyen de vis d'ébonite en forme de L. Les fils sont fixés, à leur extrémité supérieure, à deux électrodes, reliées au galvanomètre et maintenues à une tension modérée par des ressorts. Une manette, qui permet d'imprimer un torsion au fil, peut se glisser sur l'une ou l'autre électrode. L'amplitude de la torsion est mesurée au moyen d'un cercle gradué. Les fils sont plongés, sur une partie de leur longueur dans un électrolyte.

Quand on excite un nerf il ne se fatigue pas, on peut recommencer immédiatement l'expérience et on obtient la même déviation ; M. Bose exécute la même expérience sur une racine de carotte, puis sur un fil d'étain; une série de torsions successives donne naissance à des élongations de même amplitude.

Par contre, un muscle plusieurs fois excité se fatigue ; l'amplitude de ses mouvements décroît ; M. Bose montre le même fait avec une fibre de céleri, puis, sur un fil de platine.

Il peut arriver aussi que les premières excitations réveillent les tissus musculaires ; c'est l'hyperexcitabilité par excitation, que présentent les muscles du cœur et qui donne lieu à un graphique en escalier ; M. Bose projette des courbes identiques obtenues avec un muscle et un métal.

Des excitations très rapides produisent une déformation qui tend vers une limite, par suite de la naissance d'une réaction élastique, c'est ce qui se passe dans un galvanomètre balistique soumis à des impulsions très rapides ; c'est aussi ce que les physiologistes appellent le tétanos ; M. Bose nous montre aussi le tétanos de l'étain.

Notons l'emploi d'un enregistreur des plus simples ; l'écran de papier s'enroule sur un rouleau horizontal et on suit le spot du galvanomètre au moyen d'un petit chariot; une petite pointe vient toucher le papier sur le spot et un pinceau trace la courbe. On enregistre ainsi devant la Société l'excitabilité d'un fil de platine, ressemblant à une matière organisée.

Un nerf, plongé dans une dissolution de Na et pendant assez longtemps, présente des réactions inverses de celles d'un nerf frais ; un grand nombre d'excitations successives le ramènent progressivement à son état normal ; il en est de même pour l'étain.

L'excitation par la variation de température présente le même parallélisme. Enfin les réactifs chimiques qui exercent des actions si énergiques sur la matière organisée, ne laissent pas les métaux insensibles. Si l'on ajoute quelques gouttes de carbonate de sodium à l'eau qui baigne les deux fils d'étain, on augmente de moitié environ la force électromotrice due à la torsion d'un des fils. Si on ajoute un pour cent de KOH, on voit l'excitabilité disparaître et toutes les tentatives qui suivent ne donnent aucun résultat. M. Bose voit dans ce phénomène *la mort* de l'étain et rapproche le graphique qu'il obtient de celui qu'a publié Waller pour un nerf également traité par la potasse, en quelques réponses aux excitations suivies de l'insensibilité. Mais un antidote approprié peut rendre de nouveau la vie à l'étain.

Un poison peut, à faible dose, être un médicament utile ou un stimulant énergique ; c'est ce qui arrive pour la potasse à 0,2 p. 100 ; sa présence double la force électromotrice produite par la torsion.

J'emprunte à une conférence faite par M. Bose devant la Royal Institution, la péroraison suivante, qui diffère peu des textes mêmes dont M. Weiss s'est servi en son nom.

« Je viens de vous montrer les courbes, enregistrées automatiquement, de l'histoire des actions extérieures et des déformations dans le vivant et le non-vivant. Quelle similitude de tracés ! Similitude telle que vous ne pouvez les distinguer les uns des autres quand ils sont séparés. Nous avons observé les ondes de réaction, croissant et mourant dans l'un comme dans l'autre. Nous avons vu la réaction mourant de fatigue, s'exaltant par les stimulants, tuée par les poisons, dans le vivant comme dans le non vivant.

» Au milieu de tous ces phénomènes, comment tirer une ligne de démarcation et dire : ici finit le processus physique ; là commence le processus physiologique? Une pareille barrière n'existe pas.

» Les deux séries de courbes ne nous parlent-elles pas d'une propriété commune et persistante de la matière ? Ne nous montrent-elles

pas que les processus d'excitabilité observés dans la vie, sont déjà soupçonnés dans ce qui n'est pas la vie ? — que le physiologique n'est, après tout, qu'une expression de physique ? — qu'il n'y a pas de rupture brusque, mais une marche de loi uniforme et continue?

» S'il en est ainsi, retournons donc avec un nouveau courage à l'investigation des mystères qui nous ont si souvent défiés. Chaque pas qu'a fait la science a consisté à faire rentrer dans une nouvelle et harmonieuse simplicité ce qui paraissait contradictoire et capricieux. Les progrès ont toujours été vers une conception plus claire de l'unité cachée sous la diversité apparente.

» C'est devant le récent témoignage de ces courbes tracées automatiquement, c'est quand j'ai perçu en elles une phase d'une unité profonde qui porte toutes choses en elle : le mouvement qui palpite en ondes lumineuses, la vie agitée sur notre planète et les soleils radieux qui brillent au-dessus de nous, c'est alors que j'ai compris, pour la première fois, un peu du sens de cette parole prononcée par mes ancêtres, sur les bords du Gange, il y a trente siècles :

» A ceux qui savent ne voir qu'une chose dans toute la multiplicité changeante de notre univers, à ceux-là seuls appartient l'éternelle Vérité ! ». C. R.

## ACADÉMIE DES SCIENCES

*Séance du 14 avril.*

***Recherches sur les forces électromotrices***, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 793-808.

On sait que l'énergie électrique mise en jeu dans le fonctionnement d'un élément de pile n'est pas exeactement égale à l'énergie chimique dégagée par les phénomènes chimiques dont l'élément est le siège et que la force électromotrice de l'élément est donnée par la formule $E = Q + t\frac{dE}{dT}$ dans l'hypothèse de la réversibilité des réactions.

L'auteur fait observer que la *chaleur chimique* devrait être déterminée en prenant les corps composants et les corps composés sous le même état physique, par exemple l'état solide ou l'état gazeux sous volume constant ; on aurait alors la *chaleur chimique véritable*, tandis que l'expérience ne donne généralement que la *chaleur chimique apparente*, par suite de changements d'états des corps. Or, dans les éléments voltaïques, le fait que les corps décomposés ou combinés par le courant sont les uns solubles (sulfate de zinc, de cuivre), les autres insolubles dans l'eau (zinc, cuivre) vient compliquer les phénomènes, la chaleur de dissolution entrant alors en jeu pour certains des corps et non pour d'autres. C'est là une des causes des différences tantôt positives, tantôt négatives que l'on constate entre l'énergie voltaïque donnée par une pile et l'énergie chimique *apparente* des réactions qui ont lieu dans la pile. Bien d'autres causes, mal connues encore, influent d'ailleurs sur la valeur de cette différence.

Dans le but d'obtenir des données capables d'élucider la question, M. Berthelot a mesuré, par la méthode d'opposition avec le dispositif de M. Bouty, la force électromotrice de nombreux éléments constitués par deux électrolytes séparés par une cloison poreuse et dans lesquels plongeaient deux électrodes de platine ; d'autre part, il a mesuré les chaleurs chimiques apparentes résultant des réactions entre électrolytes. Dans une série d'éléments, les électrolytes étaient, d'une part, une solution de soude, d'autre part, un acide étendu d'eau ; dans une autre, les électrolytes étaient un acide et un sel de sodium d'un autre acide ; dans une troisième, on prenait un acide et le sel de sodium de ce même acide une quatrième série d'éléments étaient formés avec de la soude et un sel quelconque de sodium ; enfin les éléments de la dernière série étaient formés par deux dissolutions étendues d'un même sel. Nous renvoyons au mémoire original pour les valeurs numériques obtenues et les quelques déductions qui en sont tirées ; disons seulement que l'énergie voltaïque de ces éléments est généralement très différente de l'énergie chimique ; dans quelques cas même, l'énergie chimique apparente est négative (c'est-à-dire les réactions endothermiques) alors que l'énergie voltaïque est positive.

***Quelques remarques sur la théorie de l'arc chantant***, par **P. Janet**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 821-823.

Par un calcul simple [1], l'auteur démontre que la dérivée de la différence de potentiel $V_A - V_B$ aux bornes de l'arc par rapport à l'intensité $i'$

[1] Soient E la force électromotrice constante de la batterie d'accumulateurs qui fournit le courant principal, R la résistance du rhéostat (supposée sans self-induction)

du courant qui le traverse doit être négative, résultat déjà signalé par Duddell. Dans le cas où la résistance $r$ du circuit en dérivation sur l'arc est petite par rapport à la résistance R du circuit principal, cette dérivée est sensiblement égale à $-r$, c'est-à-dire que pour que les oscillations se produisent, il faut que le régime de l'arc soit tel que la valeur absolue de sa résistance apparente (négative) soit égale à la résistance du circuit dérivé. Duddell avait donné, au lieu de l'égalité précédente, la condition que la valeur absolue de la dérivée soit égale ou plus grande que $r$.

Comme l'arc chantant de Duddell fournit un moyen remarquable d'obtenir, au moyen d'une force électromotrice continue, un courant alternatif, il est intéressant d'étudier la valeur des courants et la répartition des énergies dans les différentes parties des circuits. Les résultats du calcul sont résumés dans le tableau suivant :

| | VALEURS | | |
|---|---|---|---|
| | instantanées. | efficaces. | moyennes. |
| Courant dans le circuit principal | $I_c + I_0 \sin \omega t$ | $\sqrt{I_c^2 + \frac{I_0^2}{2}}$ | » |
| Courant dans le circuit dérivé | $-\frac{R}{r} I_0 \sin \omega t$ | $\frac{RI_0}{r\sqrt{2}}$ | » |
| Courant dans l'arc | $I_c + \frac{R+r}{r} I_0 \sin \omega t$ | $\sqrt{I_c^2 + \frac{(R+r)^2 I_0^2}{2r^2}}$ | » |
| Différence de potentiel aux bornes de l'arc | $E - RI_c - RI_0 \sin \omega t$ | $\sqrt{(E - RI_c)^2 + \frac{R^2 I_0^2}{2}}$ | » |
| Puissance fournie par la pile | $E(I_c + I_0 \sin \omega t)$ | | $EI_c$ |
| Puissance Joule dans le circuit principal | $R(I_c + I_0 \sin \omega t)^2$ | » | $RI_c^2 + \frac{RI_0^2}{2}$. |
| Puissance Joule dans le circuit dérivé | $\frac{R^2 I_0^2 \sin^2 \omega t}{r}$ | » | $\frac{R^2 I_0^2}{2r}$ |
| Puissance fournie à la bobine de self-induction | $\frac{R^2 I_0^2 L\omega \sin 2\omega t}{2r^2}$ | » | 0 |
| Puissance fournie au condensateur | $-\left(E - RI_c + \frac{RI_0 L\omega}{r} \cos \omega t\right) \frac{RI_0}{r} \sin \omega t$ | | 0 |
| Puissance dans l'arc | $(E - RI_c - RI_0 \sin \omega t)\left(I_c + \frac{R+r}{r} I_0 \sin \omega t\right)$ | | $(E - RI_c)\, I_c - \frac{R(R+r)I_0^2}{2r}$ |

Les valeurs I et $I_0$ peuvent s'obtenir facilement par l'expérience.

intercalé sur ce circuit, $r$ la résistance du circuit dérivé, L et C la self-induction et la capacité intercalées dans ce circuit; on sait que le courant alternatif obtenu dans ce circuit dérivé a une pulsation $\omega$ déterminée par la condition de résonance.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}.$$

Cela posé, soient I le courant instantané dans le circuit principal, $i$ dans le circuit dérivé, $i'$ dans le circuit de l'arc. Le courant principal I est évidemment la superposition d'un courant continu et d'un courant alternatif,

$$I = I_c + I_0 \sin \omega t.$$

La différence de potentiel aux bornes de l'arc $V_A - V_B$ est alors

$$V_A - V_B = E - RI_c - RI_0 \sin \omega t,$$

et les courants $i$ et $i'$ sont donnés par les formules

$$i = -\frac{R}{r} I_0 \sin \omega t,$$

$$i' = I_c + \frac{R+r}{r} I_0 \sin \omega t.$$

» De là on tire

$$d(V_A - V_B) = -RI_0 \omega \cos \omega t \, dt,$$

$$di' = \frac{R+r}{r} I_0 \omega \cos \omega t \, dt,$$

d'où

$$\frac{d(V_A - V_B)}{di'} = -\frac{Rr}{R+r}.$$

***Variations du spectre des étincelles*, par B. Eginitis.** *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 824-825.

Lorsque les pôles des étincelles contiennent des métaux différents, les variations de la self-induction du circuit modifient profondément la

composition de la lumière des étincelles. L'auteur a constaté, en particulier, que l'orsqu'on fait jaillir des étincelles entre deux électrodes formées toutes d'eux d'un fil d'aluminium et d'une gaine de sodium, puis qu'on fait varier la self induction du circuit de décharge, les raies de l'aluminium diminuent d'intensité et finissent par disparaître. Cette disparition du spectre d'un des métaux s'observe également avec des électrodes de platine, de fer, d'étain, etc., entourées d'une gaine de sodium. Avec d'autres électrodes la disparition peut n'être pas complète, mais la diminution d'intensité des raies se manifeste toujours.

L'auteur signale encore quelques autres particularités du phénomène Il a remarqué qu'il n'était pas toujours indispensable que chaque électrode fût formée de deux métaux ; aussi en faisant jaillir les étincelles entre du mercure et un fil de platine ou d'aluminium, il a pu éliminer les raies de ces derniers métaux.

Il semble résulter de ces observations que les métaux dont les spectres s'éliminent ou diminuent d'intensité sont ceux qui sont difficilement volatils.

***Diffusion rétrograde des électrolytes***, par **J. Thovert**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 826-827.

L'auteur cite des expériences qui l'ont conduit à cette conclusion : Si l'on fait diffuser une solution d'un acide additionné d'un autre électrolyte, vis-à-vis d'une solution de cet électrolyte additionnel, on constate que ce dernier corps, réparti primitivement d'une façon uniforme dans tout le liquide, se concentre en certains points pendant les premiers temps de l'expérience.

Ce résultat s'explique fort bien dans la théorie électrolytique de la diffusion. D'après Nernst, la variation de pression osmotique entre les couches liquides inégalement concentrées est la cause de la tendance à l'équilibre. Si la substance dissoute est un électrolyte supposé dissocié en ions, la seule action osmotique causerait un passage inégal des ions, dont les frottements sont en général différents. Il en résulte une séparation de charges électriques et une force électrique compensatrice qui maintient la neutralité de la solution.

Si, en outre du corps diffusant, HCl, par exemple, il existe dans le milieu un autre électrolyte, supposons NaCl, réparti uniformément, il n'y a rien de changé à l'action osmotique, mais la force électrique trouvant application sur les ions de l'électrolyte additionnel sera moins grande pour obtenir la compensation de neutralité que si H Cl se trouvait dans l'eau pure. Il en résulte une augmentation de vitesse dans la diffusion des ions H — fait déjà expérimenté par Arrhénius — et une rétrogradation des ions Na démontrée par les expériences de l'auteur.

***Sur la réaction magnétique de l'induit des dynamos***, par **Vasilesco-Karpen**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 827-830.

« Une dynamo, dit l'auteur, doit nous apparaître, au point de vue magnétique, comme un ensemble de circuits ou, plus exactement, comme un milieu magnétique, soumis à l'action d'un certain nombre de forces magnétomotrices constituées par les spires tant inductrices qu'induites.

» C'est *à cet ensemble* qu'il faut appliquer le calcul pour trouver les flux utiles et par conséquent la force électromotrice de la machine, soit à vide, soit en charge. Le calcul rigoureux de ces flux n'est pas abordable, mais sans rien changer à la façon d'envisager la question, nous ferons les simplifications d'usage ; l'explication, qualitative du moins, du phénomène n'en souffrira pas.

» Considérons une machine bipolaire (fig. 1);

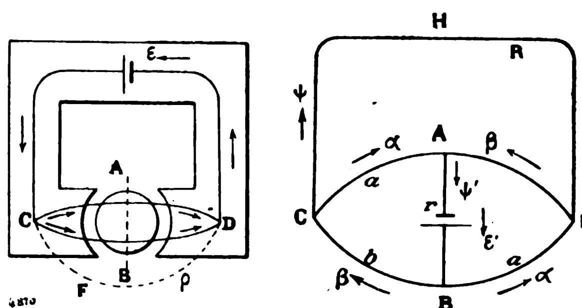


Fig. 1 et 2.

je composerai les ampères-tours inducteurs et les ampères-tours longitudinaux, évidemment démagnétisants, en une seule force magnétomotrice $\varepsilon$. La figure 1 représente, avec leurs sens, les lignes de force moyennes des flux produits par cette force magnétomotrice $\varepsilon$.

» Je compose de même les ampères-tours transversaux de l'induit en une seule force magnétomotrice $\varepsilon'$, dirigée suivant AB. Cette force magnétomotrice superpose aux flux dus à $\varepsilon$ de nouveaux flux $\alpha$, $\beta$, $\psi$, $\psi'$, dont la figure 2 donne les lignes

de force moyennes avec leurs sens ; ces lignes de force sont supposées avoir le même parcours que celles dues à ε.

» Soient $a$, $b$, $r$, R les réluctances des tronçons parcourus par les nouveaux flux ; les lois de Kirchhoff donnent

$$(1) \qquad \psi = \frac{a-b}{(R+a)(r+b)+(R+b)+(r+a)}\varepsilon'.$$

» Dans la théorie classique, au lieu de considérer l'ensemble du réseau représenté par la figure 2, on considérait seulement la portion ABCD, ce qui revient à supposer $a = b$. *C'est la raison pour laquelle la théorie classique s'est trouvée en contradiction avec les faits.*

» Dans la formule (1) $a$, $b$, $r$, R sont, en effet, les réluctances comptées *à partir de l'état magnétique dû à* ε ; et si l'on considère l'allure des courbes du magnétisme, on voit que ces réductances sont plus grandes dans le sens des flux préexistants que dans le sens contraire ; on aura donc presque toujours $a > b$.

» Les ampères-tours transversaux sont donc démagnétisants et leur influence partant de zéro sera maximum aux environs du coude de la courbe du magnétisme des parties CA, CB, DA, DB ([1]).

» J'ai supposé, dans la démonstration précédente, que les lignes de force moyennes ont le même parcours qu'avant l'introduction de la force magnétomotrice transversale, et l'on a pu se demander si l'allongement des lignes de force augmentant la réluctance ne diminuerait pas le flux utile. Pour examiner cette question, plaçons-nous dans le cas où $r = R$, $\varepsilon = \varepsilon'$. Par raison de symétrie, les deux flux Φ et Φ' traversant ε et ε' seront égaux, et, suivant un principe que j'ai énoncé dans une Note précédente ([2]), ces flux, calculés avec une distribution approximative des lignes de force, sont moindres que les flux réels. En d'autres mots, nous obtenons par le calcul indiqué une limite supérieure de la réaction d'induit.

([1]) « Dans certaines machines où le coude de la courbe du magnétisme est très prononcé, l'influence démagnétisante des ampères-tours transversaux peut être très voisine de celle des ampères-tours longitudinaux ; il n'est donc pas étonnant que la réaction d'induit ait été trouvée quelquefois indépendante de l'angle de calage. On a vérifié aussi quelquefois que la réaction d'induit augmentait avec l'excitation (Stromberg). Ce cas paradoxal s'explique par l'existence d'un maximum dans la valeur de ψ.

([2]) *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 151, 25 janvier 1902.

L'allongement des lignes de force est compensé, et au-delà, par la cause qui le fait naître, c'est-à-dire par la force magnétomotrice transversale.

» *Influence des fuites.* — Les fuites magnétiques peuvent être représentées par une dérivation CFD de réluctance ρ (fig. 1). L'influence de cette dérivation est double : elle diminue le flux utile dû à ε et augmente le flux démagnétisant ψ, car, dans l'équation (1), il faut remplacer R par la quantité moindre $\frac{R\rho}{R+\rho}$. ([1]).

***Remarques sur le fonctionnement des cohéreurs et des auto-décohéreurs***, par **O. Rochefort**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 830-831.

Il est généralement admis que dans les cohéreurs à décohésion spontanée, les contacts sont plus imparfaits encore que dans les cohéreurs qui ont besoin d'un choc pour décohérer. M. O. Rochefort signale plusieurs faits d'expérience en contradiction avec cette manière de voir. Ainsi, si l'on a un cohéreur dont les électrodes peuvent être rapprochées ou éloignées, le cohéreur devient auto-décohérent pour une certaine valeur de la pression, de la limaille, puis, si on augmente cette première, il ne peut plus être décohéré que par un choc :

D'une manière générale, *tous les cohéreurs à décohésion spontanée peuvent être ramenés à l'état de cohéreurs ordinaires en diminuant la pression des contacts imparfaits.* Les expériences entreprises ne permettent pas encore de généraliser la réciproque ([2]).

([1]) Des expériences, faites au laboratoire des recherches physiques de la Sorbonne sur une vieille machine-série Gramme (type d'atelier) ont montré l'influence démagnétisante des ampères-tours transversaux et l'existence d'un maximum de cet effet pour une certaine valeur de l'excitation.

([2]) Un autre fait, important au point de vue pratique, observé par l'auteur, est le suivant : « en modifiant un peu la construction de tubes à électrodes et à limaille de fer doux dérivés du tube Tissot, un tel tube, cohéré par un premier train d'ondes, voit tomber sa résistance initiale précisément dans les limites voulues pour passer à l'état d'auto-cohéreur de très grande sensibilité. On peut dès lors, avec le même appareil, recevoir au Morse et au son, suivant qu'on l'emploie comme cohéreur ordinaire ou comme autodécohéreur. De plus, cette façon d'obtenir la pression voulue est à la fois plus facile, plus constante et plus sûre que tous les moyens mécaniques, d'un maniement trop délicat.

*Le Gérant :* C. NAUD.

Tome XXXI. Samedi 10 Mai 1902. 9e Année. — N° 19.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



# OSCILLATIONS PROPRES DES RÉSEAUX

M. Boy de la Tour a publié récemment dans *L'Industrie Électrique* (nos 242 et 243) un article intéressant intitulé : Etude théorique de quelques oscillations de potentiel extrêmement élevé pouvant naître dans les canalisations à haute tension. Nous serions heureux si les présentes observations pouvaient inciter l'auteur à préciser ses explications. Il rappelle dans ce travail, une étude de M. C.-P. Steinmetz présentée au Congrès des électriciens de Buffalo. M. Steinmetz aurait expérimenté divers types d'interrupteurs sur une ligne artificielle, composée de bobines de self et de 800 m de câble fortement isolé. La mesure de la tension instantanée s'effectuait en déterminant la longueur de l'étincelle entre deux pointes branchées sur le système. La différence de potentiel obtenue par la manœuvre de l'interrupteur a pu dans certains cas engendrer un arc de un mètre de long. Ce sont probablement les oscillations électriques, que sir William Thomson (depuis lord Kelvin), a étudiées dans la décharge du condensateur, qui sont la cause du phénomène. M. Boy de la Tour reprend le problème, mais ici, nous ne pouvons nous empêcher de penser qu'il eût été désirable que l'auteur eût complété ses explications par une figure, indiquant schématiquement la composition du circuit considéré par lui. Et, en effet, il dit tout d'abord : « Supposons que la capacité de la ligne soit représentée par un condensateur shunté sur le milieu du transport d'énergie, », ce qui donne à croire que le circuit serait constitué comme le représente la figure 1. Il y aurait alors trois branches, celle de l'alternateur (force électromotrice $= e$, intensité $i$), celle du condensateur (capacité C), celle du primaire du transformateur (intensité $i'$, résistance R, self $l$). La résistance totale de la ligne est $2r + R$. L'équation différentielle du phénomène serait donc :

$$\frac{i'}{C} + \frac{1}{2r+R}\left(\frac{l}{C} + r(r+R)\right)\frac{di'}{dt} + \frac{rl}{2r+R}\frac{d^2i'}{dt^2} = \frac{e}{C(2r+R)}.$$

Or, l'équation posée par M. Boy de la Tour est, au contraire, sauf la différence des notations :

$$\frac{i}{C} + r\,\frac{di}{dt} + l\,\frac{d^2i}{dt^2} = \frac{de}{dt},$$

qui correspond au cas du condensateur embroché (et non en dérivation), c'est-à-dire à la figure 2. Plaçons-nous donc dans cette hypothèse. M. Boy de la Tour examine la différence de potentiel entre les bornes du condensateur, et cela principalement dans le cas où l'on rompt un court-circuit qui se serait produit entre les bornes. Il montre que dans ces conditions la différence de potentiel alternative peut être très élevée. Le court-circuit dont il s'agirait alors ne serait donc pas, comme on serait tenté de le croire *a priori*, un arc entre le fil d'aller et le fil de retour de la ligne d'énergie. Le cas serait différent. Reportons-nous à la figure 3. Le câble étant rompu en A, par exemple, par la manœuvre de l'interrupteur, le brin 1 forme avec l'armature 3 un condensateur ; de même, l'armature 3 et le brin 2 forment un autre condensateur. Les deux condensateurs sont alors en série ; ils équivalent à une seule capacité, qui était tout d'abord en court-circuit et qui est venue s'intercaler sur la ligne, — la couper — par le jeu de l'interrupteur. C'est un cas que M. Chevrier étudie, dans l'état de régime, il est vrai, à propos des câbles concentriques, dans son livre sur la Pratique des courants alternatifs [1]. Comme M. Boy de la Tour termine son article, en donnant des exemples numériques, il serait intéressant de savoir si les chiffres donnés par lui visent bien ce cas, ou non. La capacité en cause ne serait pas la capacité relative du fil d'aller par rapport au fil de retour, mais la capacité par rapport à la terre. L'éventualité envisagée par l'auteur ne nous a pas paru ressortir clairement de son exposé, ce qui empêche toute espèce de vérification.

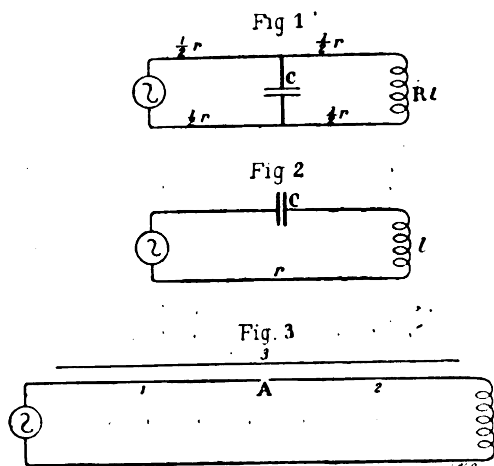


Fig. 1 à 3.

Quoi qu'il en soit, il n'est pas douteux que des oscillations à très haut voltage peuvent dans certains cas se développer sans qu'il y ait lieu d'en chercher l'origine dans des phénomènes de résonance avec les harmoniques de la force électromotrice des alternateurs, ou des moteurs. La cause de ces oscillations serait dans la constitution même du réseau. Je dirai dès maintenant que ces oscillations « propres » ne peuvent provenir que de l'échange entre l'énergie magnétique des bobines (énergie électrocinétique de Maxwell) et l'énergie électrique des capacités formées par les câbles ou les condensateurs. C'est ce que je vais me proposer de démontrer. Il en résultera, par exemple, pour un câble sous-marin, dont la self est négligeable devant la capacité, que si l'on met une de ses extrémités en communication avec une pile, l'autre étant à la terre soit directement, soit par l'intermédiaire d'un condensateur embroché, le courant pendant la période variable sera exprimable par une somme d'exponentielles. Au contraire, dans le même cas, sur une ligne aérienne, où la self n'est pas négligeable, il pourra se produire des oscillations amorties. On pourra en déduire aussi que les effets d'induction des fils de trôlet sur les fils téléphoniques ne doivent venir que des moteurs, et ne dépendent pas des oscillations propres

[1] G. Chevrier. Pratique industrielle des courants alternatifs. *G. Carré* et *C. Naud* éditeurs, p. 246.

de la distribution, parce que, dans celle-ci, la capacité est sans doute tout à fait négligeable vis à vis des self intercalées.

Quand un réseau de conducteurs linéaires comprend des self et de l'induction mutuelle dans ses diverses branches, il n'est pas évident *a priori* que le système abandonné à lui-même ne sera pas le siège d'oscillations amorties. Si, par exemple, il n'y avait qu'une bobine de self, sa présence introduirait dans l'expression des courants pour l'état variable un terme exponentiel ; si l'on introduisait des forces électromotrices agissantes de la forme $Ae^{-\frac{t}{\tau}}$, on aurait aussi des termes exponentiels correspondants, mais si l'on a plusieurs self et de l'induction mutuelle, on ne peut en conclure immédiatement l'adjonction pure et simple de nouveaux termes exponentiels, car les diverses forces électromotrices d'induction peuvent réagir les unes sur les autres. On peut se demander, par exemple, si deux bobines d'induction, placées dans un pont de Wheatstone, l'une dans la branche de pile, l'autre dans la branche (dite galvanométrique) ne feront pas des échanges de leurs énergies pouvant prendre avec un certain amortissement le caractère oscillatoire. Si cela était possible, on aurait un nouveau moyen de produire des oscillations. De même, on pourrait se demander, si, dans les réseaux de distribution d'éclairage électrique, les fils d'égalisation de potentiel reliant plusieurs feeders et qui peuvent, suivant l'état de répartition des charges du réseau, être parcourues par des courants, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, ne seraient pas, par leur présence seule, la cause de certaines perturbations. Nous allons voir qu'il n'en est rien, ou tout au moins, que l'existence seule de ces transversales est impuissante à motiver des oscillations, si le réseau ne possède pas à la fois de l'induction et de la capacité.

Pour faire cette démonstration, il suffit d'appliquer d'une façon générale les lois bien connues de Kirchhoff, en tenant compte de l'induction. Voici comment je suis parvenu à donner aux équations une forme appropriée au but à atteindre.

Supposons $n$ sommets $P_1\ P_2 \dots P_n$ ; soient $V_1\ V_2 \dots V_n$ leurs potentiels respectifs, et, dans la branche $P_k\,P_l$ soient $i_{kl} = - i_{lk}$, le courant ; $E_{kl} = - E_{lk}$, la force électromotrice ; $r_{kl} = r_{lk}$ la résistance ; $L_{kl}$, $M_{kl}^{k'l'} \dots$, les coefficients d'induction ; posons :

$$W = \sum E_{kl}\, i_{kl} \qquad T = \sum \frac{1}{2} L_{kl}\, i_{kl}^2 + \sum M_{kl}^{k'l'}\, i_{kl}\, i_{k'l'}.$$

$$J = \sum r_{kl}\, i_{kl}^2 \qquad \frac{dT}{dt} = \sum p_{kl} i_{kl}, \text{ avec : } p_{kl} = \frac{d}{dt}\, \frac{dT}{di_{kl}}.$$

On a, pour la branche $P_k\,P_l$ :

$$V_k - V = E_{kl} - r_{kl}\, i_{kl} - p_{kl}$$

Les équations analogues, jointes aux équations de continuité, relatives aux sommets, sont les équations de l'électricité.

On peut éliminer les potentiels : il suffit d'ajouter membre à membre les équations écrites ci-dessus, après les avoir multipliées respectivement par la variation du courant dans la branche correspondante, et tenant compte des équations de continuité auxquelles ces variations seront censées devoir satisfaire ; on aura par exemple entre les variations des équations comme la suivante :

$$\delta i_{k1} + \delta i_{k2} + \dots + \delta i_{kk-1} + \delta i_{kk+1} + \dots + \delta i_{kn} = 0.$$

Il vient alors :

$$\sum E_{kl}\,\delta i_{kl} - \sum r_{kl}\,i_{kl}\,\delta i_{kl} - \sum p_{kl}\,\delta i_{kl} = 0, \quad \text{ou} \quad \delta W - \frac{1}{2}\,\delta J - \delta\,\frac{dT}{dt} = 0. \qquad (1)$$

Nous nous servirons de cette équation pour effectuer un changement de variables.

Les équations de continuité permettent d'exprimer un certain nombre des intensités en fonction des autres, que nous prendrons pour variables : appelons-les $x_1\ x_2 \ldots x_p$; les variations $\delta x_1, \delta x_2 \ldots, \delta x_p$ peuvent dès lors être considérées comme indépendantes. L'équation (1) se décompose donc en $p$ équations distinctes, de la forme :

$$\frac{\partial W}{\partial x} - \frac{1}{2}\,\frac{\partial J}{\partial x} - \frac{d\,\dfrac{\partial T}{\partial x}}{dt} = 0.$$

On doit, dans cette équation, supposer que l'on a mis W, J et $\frac{dT}{dt}$ sous les formes ci-après :

$$W = \sum e_k x_k \qquad \frac{1}{2}\,J = \sum a_{kl} x_k x_l \qquad \frac{dT}{dt} = \sum q_k x_k \qquad \text{avec :} \qquad q_k = \sum b_{kl}\,\frac{dx_l}{dt}.$$

L'équation (1) donnera alors les $p$ équations ($k = 1, 2, \ldots p$) :

$$e_k = \sum \left(a_{kl} + b_{kl}\,\frac{d}{dt}\right) x_l.$$

Ce que nous entendons par oscillations propres, ce sont les oscillations qui seraient obtenues en supposant nulles les forces électromotrices ($e_k = 0$). La résolution du système d'équations différentielles ci-dessus dépendra d'une équation caractéristique $f(\lambda) = 0$, qui s'obtiendra évidemment en égalant à zéro le déterminant des équations ci-dessus, où le symbole $\frac{d}{dt}$ aurait été remplacé par $\lambda$. Ce déterminant n'est autre que le discriminant de $\frac{1}{2}\,J + \lambda T$. Or, il suffirait que l'une des deux formes quadratiques $\frac{1}{2}\,J$ ou T fût une forme définie positive pour que toutes les racines $\lambda$ fussent réelles; mais $\frac{1}{2}\,J$ et T sont toutes deux des formes ayant ce caractère, donc toutes les racines en $\lambda$ sont bien réelles, et de plus, elles sont négatives. On sait, en effet, qu'elles sont égales aux valeurs du rapport $\dfrac{-\frac{1}{2}\,J}{T}$, quantité essentiellement négative, — lorsqu'on y a remplacé les variables par les valeurs, pour lesquelles elles satisfont aux conditions de maximum ou de minimum. Par conséquent, les solutions des équations sans second membre sont de la forme $\sum M e^{-\frac{t}{\theta}}$, ($\theta > 0$) ; il ne saurait donc y avoir d'oscillations propres. On obtiendrait aisément des résultats analogues, si l'on supposait chaque branche coupée par un condensateur, mais que les conducteurs fussent dépourvus de self ou d'induction mutuelle.

J.-B. Pomey,
Ingénieur des télégraphes.

## NOUVELLES MÉTHODES

# POUR LA MESURE DE LA RÉSISTANCE INTÉRIEURE DES PILES

Toutes méthodes de mesure de résistances électriques inertes dans lesquelles on cherche à établir une relation entre des résistances par l'observation de l'équilibre d'un galvanomètre ou autre appareil de zéro, se transforment en méthodes de faux zéro lorsque les résistances à mesurer sont, comme les piles, le siège de forces électromotrices constantes. La source d'électricité que l'on emploie dans les mesures de résistances ordinaires devient en général inutile : la pile étudiée fournit elle-même au système de conducteurs les courants nécessaires.

Partant de ce principe, qui a déjà été mis en pratique dans quelques méthodes, notamment celle de Mance, avec le pont de Wheatstone pour l'étude des piles de résistance moyenne, nous avons appliqué aux piles de grande conductibilité, et en particulier aux accumulateurs, les méthodes employées pour la mesure des résistances faibles (pont double de lord Kelvin, pont différentiel de Hockin et Matthieussen, méthode électrométrique, méthode du galvanomètre différentiel, etc.).

Pour ne pas allonger par trop cet exposé, nous étudierons seulement le dispositif du pont double et celui du pont de Wheatstone différentiel, qui nous ont donné les meilleurs résultats ; les modifications à apporter aux méthodes passées sous silence sont d'ailleurs analogues à celles que nous allons indiquer et du reste faciles à imaginer.

1) *Emploi du pont double de Lord Kelvin pour la mesure de la résistance intérieure d'une pile.*

La méthode consiste à placer la pile dans le pont double à la place de la résistance à mesurer ordinaire X, et à former le circuit extérieur d'un rhéostat $R_h$ réglable. De cette façon, l'interrup-

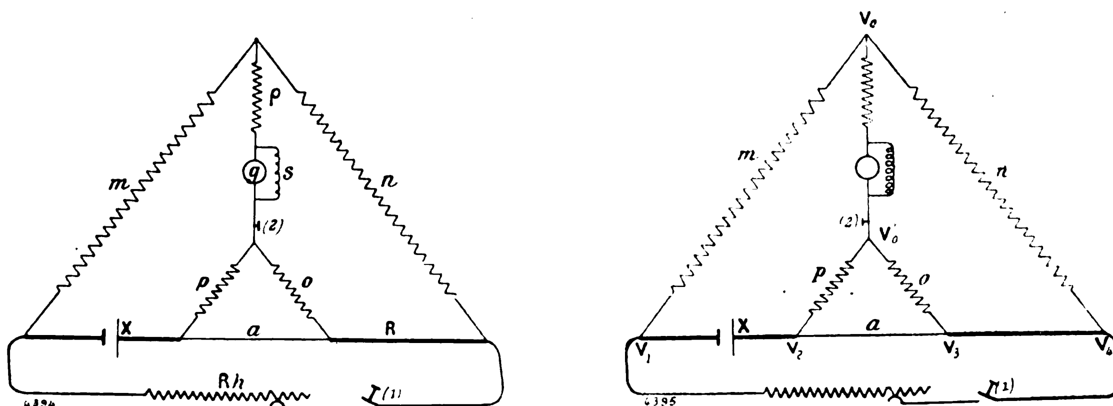



Fig. 1 et 2. — Emploi du pont double de Lord Kelvin, pour la mesure de la résistance intérieure d'une pile.

teur 1 étant ouvert et 2 fermé (voir fig. 1 et 2), la pile débite un certain courant dans le galvanomètre mis en série avec une résistance ρ et convenablement shunté par une résistance S inductive autant que possible, et l'on observe une déviation permanente.

Après avoir choisi les résistances $m$, $n$, $o$ et $p$ telles que :

$$\frac{m}{n} = \frac{p}{o},$$

on règle la résistance $R_h$ de façon que la déviation du galvanomètre ne varie pas quand on ferme l'interrupteur 1.

Pour trouver la relation qui existe alors entre X et $R_h$, il faudrait exprimer que, lorsque la résistance du circuit extérieur passe brusquement de l'infini à la valeur $R_h$, le courant du galvanomètre $i_g$ ne varie pas, ou que $\frac{\delta i_g}{i_g} = o$.

Cela conduirait à des calculs longs et compliqués. On peut arriver plus facilement au résultat en exprimant que la variation de la différence de potentiel $\delta (V_0 - V'_0)$ aux bornes du galvanomètre est nulle.

Soient $i_1$, $i'_1$, $i_2$, $i'_2$, $I_1$ et $I_2$ les courants qui passent dans les six branches du pont quand l'interrupteur I est ouvert,
et

$$i_1 + \delta i_1,\ i'_1 + \delta i'_1,\ i_2 + \delta i_2,\ i'_2 + \delta i'_2,\ I_1 + \delta I_1 \text{ et } I_2 + \delta I_2.$$

quand l'interrupteur I est fermé.

Puisque $\delta i_g = o$, on a :

$$\delta i_1 = \delta i'_1\,;\ \delta i_2 = \delta i'_2\,;\ \delta I_1 = \delta I_2.$$

Cela posé, en appelant $\delta (V_0 - V'_0)$, $\delta (V_1 - V_0)$, etc., les variations des différences de potentiel entre les sommets quand on ferme l'interrupteur I, on a :

$$\delta I_1 = \frac{\delta (V_1 - V_2)}{X} = \frac{\delta (V_3 - V_4)}{R}\,;$$

d'où l'on déduit

$$\frac{R}{X} = \frac{\delta (V_3 - V_4)}{\delta (V_1 - V_2)}. \quad (1)$$

D'autre part

$$\delta i_1 = \frac{\delta (V_1 - V_0)}{m} = \frac{\delta (V_0 - V_4)}{n}\,;$$

de même

$$\delta i_2 = \frac{\delta (V_2 - V'_0)}{p} = \frac{\delta (V'_0 - V_3)}{o}\,;$$

d'où l'on tire :

$$\frac{\delta (V_1 - V_0)}{\delta (V_2 - V'_0)} \frac{p}{m} = \frac{\delta (V_0 - V_4)}{\delta (V'_0 - V_3)} \frac{o}{n}.$$

Si la relation $\frac{m}{n} = \frac{p}{o}$ est réalisée, on aura :

$$\frac{\delta (V_1 - V_0)}{\delta (V_2 - V'_0)} = \frac{\delta (V_0 - V_4)}{\delta (V'_0 - V_3)}.$$

et en retranchant les dénominateurs des numérateurs

$$\frac{\delta (V_1 - V_2)}{\delta (V_2 - V'_0)} = \frac{\delta (V_3 - V_4)}{\delta (V'_0 - V_3)},$$

puisque $\delta (V_0 - V'_0) = o$ ; on en déduit :

$$\frac{\delta (V_1 - V_2)}{\delta (V_3 - V_4)} = \frac{\delta (V_2 - V'_0)}{\delta (V'_0 - V_3)} = \frac{p}{o} = \frac{m}{n}\,; \quad (2)$$

et en comparant les égalités 1 et 2, on a :

$$\frac{R}{X} = \frac{o}{p} = \frac{n}{m}$$

d'où

$$X = R\,\frac{m}{n}$$

Dans les cas où les rapports $\frac{m}{n}$ et $\frac{p}{o}$ ne seraient pas exactement égaux, on démontrerait facilement, comme dans le pont double ordinaire, que lorsqu'on établit l'équilibre du galvanomètre, on a la relation :

$$X = \frac{mR}{n} + \frac{ao}{p+o+a}\left(\frac{m}{n} - \frac{p}{o}\right).$$

Le montage à employer avec un *pont double modèle Carpentier* est le suivant : les deux bornes de la pile sont reliées d'une part (au moyen de conducteurs pouvant supporter le courant maximum débité par la pile) aux deux bornes *courant*, et d'autre part aux bornes *dérivation*, les connexions étant faites comme l'indique la figure 3. Le galvanomètre est relié à ses bornes ordinaires et les bornes *piles*, fermées sur un rhéostat $R_h$ mis en série au besoin avec un ampèremètre.

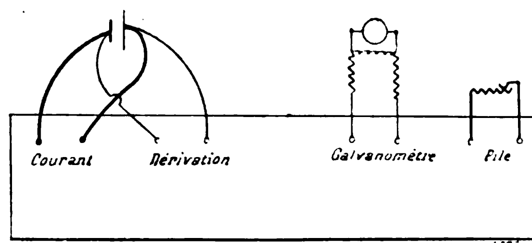
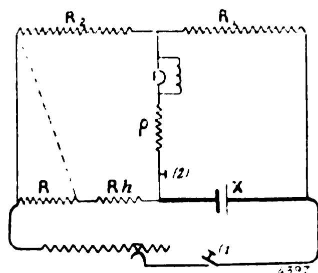



Fig. 3. — Schéma des connexions d'un pont double Carpentier pour la mesure de la résistance intérieure des piles.

*Dans un pont double monté de toutes pièces*, on peut prendre pour R une résistance étalonnée fixe et faire varier les rapports $\frac{m}{n}$ et $\frac{p}{o}$ sur des boîtes de résistances.

2) *Emploi du pont de Wheatstone différentiel.* — Nous avons eu également l'idée de transformer la méthode de Mance en une méthode différentielle, de façon à éliminer, comme dans le pont de Hockin et Matthieussen, les résistances de connexion qui peuvent avoir une importance notable, dans les mesures de résistance intérieure d'accumulateurs par exemple.

Supposons un pont de Wheatstone dont deux boîtes de résistances $R_1$ et $R_2$ forment deux des bras ; les autres sont constitués l'un par la pile à étudier, l'autre par une résistance étalonnée R mise en série avec une résistance de même ordre, mais non nécessairement connue. Le galvanomètre est relié d'une part au point commun à $R_1$ et $R_2$, et d'autre part à l'une des bornes même



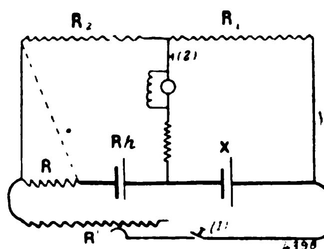




Fig. 4 et 5. — Emploi du pont de Wheatstone différentiel pour la mesure de la résistance intérieure des piles.

de la pile (fig. 4 et 5). Le galvanomètre étant convenablement shunté, on relie $R_2$ successivement aux deux bornes de R et l'on règle $R_2$, $R_1$ restant fixe, de manière à obtenir l'équilibre du galvanomètre.

Nous n'établirons pas ici la relation qui existe alors entre les résistances des quatre bras du pont, relation que l'on démontre à propos de la méthode de Mance et que nous supposerons connue. Soient $R_2$ et $R'_2$ les valeurs correspondant aux deux équilibres du galvanomètre ; on a :

$$\frac{R + R_h}{X} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

et

$$\frac{R_h}{X} = \frac{R'_2}{R_1}. \quad (2)$$

***

En comparant les équations 1 et 2, il vient

$$\frac{R}{X} = \frac{R_2 - R'_2}{R_1};$$

d'où

$$X = \frac{RR_1}{R_2 - R'_2}.$$

Il est à remarquer que, dans les deux expériences, le courant débité par la pile reste sensiblement le même, si l'on a soin de prendre les résistances $R_1$ et $R_2$ suffisamment élevées relativement à X, R et $R_h$. Par suite, la pile sera, dans les deux cas, placée dans les mêmes conditions ; les deux mesures seront comparables.

Pour ne pas être obligés de réduire énormément la sensibilité du galvanomètre en le shuntant par une résistance trop petite, nous avons employé, à la place de la résistance $R_h$, une pile identique à celle que nous étudions. Ses pôles étaient orientés de telle sorte qu'elle tendait à produire dans le galvanomètre un courant de sens contraire à celui de la pile étudiée (fig. 5).

*Remarque.* — Les méthodes précédentes pourraient également servir à déterminer la résistance d'une pile en service débitant un courant donné. Il suffirait de munir le circuit extérieur d'un rhéostat réglable permettant de faire passer le courant débité par la pile de la valeur considérée à une seconde valeur plus grande ou plus petite, mais différant autant que possible de la précédente. Le réglage des résistances s'effectuerait encore en cherchant à rendre les déviations du galvanomètre indépendantes du courant débité par la pile dans le circuit extérieur.

Le défaut de toutes ces méthodes, y compris celle de Mance, est que la sensibilité du galvanomètre est considérablement réduite par le shunt sur lequel on est obligé de le mettre en dérivation. Nous avons eu l'idée de porter remède à cet inconvénient de la manière suivante. Le shunt et les résistances que l'on met en série avec le galvanomètre ne servent, au fond, qu'à le préserver des courants trop intenses qui le traverseraient si on le reliait directement aux bornes de son circuit. On peut arriver au même résultat en appliquant dans la branche du galvanomètre une différence de potentiel constante, opposée et sensiblement égale à celle que détermine la pile étudiée aux bornes de ce circuit.

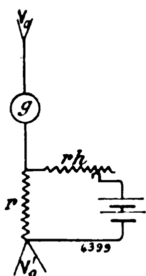


Fig. 6. — Dispositif permettant d'introduire une différence de potentiel réglable dans le circuit du galvanomètre au lieu du shunt.

Pour réaliser cette différence de potentiel réglable à volonté, nous avons mis en série avec le galvanomètre une résistance $x$ faisant partie d'un circuit auxiliaire comprenant un rhéostat $rh$ et un ou deux accumulateurs (fig. 6) ; le sens de leurs pôles était tel qu'ils tendaient à produire dans la résistance $r$ un courant de même sens que la pile étudiée. Nous réglions $rh$ jusqu'à ce que la déviation du galvanomètre fut faible ou nulle.

Les calculs faits au sujet des méthodes précédentes s'appliquent encore, car ils admettent seulement que la différence de potentiel aux bornes du galvanomètre ne varie pas et ne supposent rien sur la constitution de son circuit.

Le galvanomètre n'étant plus shunté, et la résistance de l'ensemble de $r$, $rh$ et des accumulateurs pouvant être très réduite, à condition de leur faire débiter un courant intense, les méthodes gagnent beaucoup en sensibilité.

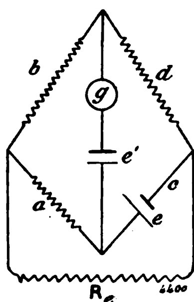
On pourrait être tenté de croire cependant que, dans le pont de Wheatstone et le pont double, lorsque l'équilibre n'est pas exactement réalisé, la force électromotrice introduite dans la branche du galvanomètre tende à réduire les variations du courant produites dans l'appareil de zéro par la pile étudiée lorsqu'on modifie le circuit extérieur, et ne diminue de ce fait la sensibilité de la méthode.

Un calcul complet dans le cas du pont de Wheatstone donne comme variation du courant du galvanomètre avec la résistance $R_e$ du circuit extérieur

$$\frac{di_g}{dR_e} = \frac{(ad - bc)\left[e\left[g(b+d) + d(a+b)\right] - e'(ad - bc)\right]}{\left[R_e\left[g(a+b+c+d) + (a+b)(c+d)\right] + g(a+c)(b+d) + ac(b+d) + bd(a+c)\right]^2}$$

Cette expression montre que lorsque l'on est près de l'équilibre ($ad - bc$ voisin de $o$), la force électromotrice $e'$ (voir fig. 7) n'entraîne qu'une modification du courant $i_g$ négligeable devant celle que produit la pile $e$, et qu'elle ne diminue pas d'une façon appréciable la sensibilité de la méthode.

Dans le cas du pont double, les calculs seraient plus longs et plus compliqués ; on peut prévoir cependant que l'on arriverait au même résultat. Les courants qui traversent chaque conducteur sont en effet la somme algébrique des courants que produirait chacune des piles $e$ et $e'$ travaillant séparément. Or, les résistances $m$, $n$, $o$ et $p$ étant grandes relativement à R et X, le courant $i'_g$ produit par $e'$ à travers le galvanomètre serait sensiblement le même si ces deux résistances R et X n'existaient pas, ce qui reviendrait à relier les deux conducteurs $e$ et $R_e$ aux mêmes points. On aurait alors un pont de Wheatstone ordinaire dans lequel les rapports $\frac{m}{n}$ et $\frac{p}{o}$ sont toujours égaux ; par suite, le courant $i'_g$ est sensiblement indépendant de la valeur de $R_e$, et la présence de $e'$ ne réduit pas la sensibilité de la méthode (fig. 8).



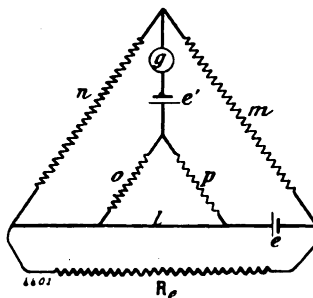




Fig. 7 et 8.

*Influence de la polarisation.* — En appliquant toutes ces méthodes, ce que l'on constate en réalité, ce n'est pas le repos du galvanomètre, car, par suite de la variation du courant fourni par la pile, elle se polarise plus ou moins, ce qui entraîne même dans le voisinage de l'équilibre une variation de la déviation du galvanomètre. Ce phénomène rend assez difficile l'observation de l'équilibre. Pour obtenir des résultats aussi bons que possible, il faut chercher une résistance qui donne une déviation en sens inverse de celle due à la polarisation et la diminuer progressivement jusqu'à la disparition du crochet que fait le spot à l'opposé du zéro. On peut également déterminer la résistance pour laquelle le crochet apparaît.

En réalité, la résistance pour laquelle le crochet du spot apparaît ou disparaît n'est pas exactement la résistance qui donnerait l'équilibre si la polarisation n'intervenait pas. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que la vitesse initiale communiquée au galvanomètre par suite de la polarisation est sensiblement égale à celle qui serait déterminée par le mauvais réglage du pont.

En général, il est difficile de déterminer l'approximation avec laquelle on s'approche de la résistance vraie. A ce point de vue, les méthodes différentielles nous paraissent supérieures aux autres. Si la détermination des résistances R et R', qui font successivement disparaître le crochet du spot, se fait dans les mêmes conditions de sensibilité, ces deux valeurs sont ou toutes les deux supérieures ou toutes les deux inférieures de la même quantité à la valeur exacte correspondante ; leur différence R — R' qui intervient dans les calculs est exacte aux erreurs d'expérience près.

*Etude de la polarisation d'un accumulateur.* — Les mesures de résistance de piles par les méthodes de faux zéro peuvent servir à déterminer la variation de leur force électromotrice lorsqu'on leur fait débiter un courant donné. La déviation du galvanomètre est en effet fonction de la force électromotrice de la pile lorsque le circuit extérieur est ouvert. Si l'équilibre du pont est réalisé, cette déviation doit rester constante lorsque l'on fera débiter la source étudiée, à moins toutefois qu'elle ne se polarise ; dans ce cas, si l'on admet que sa résistance intérieure reste constante, l'ob-

servation du déplacement du spot permet d'obtenir la variation de la force électromotrice. En réalité, la résistance intérieure des piles varie en général avec la polarisation ; pour éliminer l'influence de cette variation, qui porte surtout sur la résistance de contact des électrodes avec le liquide, il faudrait étudier des piles dans lesquelles la distance des électrodes soit suffisamment grande pour que la variation totale de résistance soit relativement faible. De plus, il faudrait employer un galvanomètre dépourvu d'inertie, dont les indications soient à un instant donné rigoureusement proportionnelles au courant qui les traverse. Un galvanomètre à moment d'inertie non négligeable donnerait, suivant son amortissement, des courbes différant plus ou moins de la courbe exacte de polarisation, indiquée sur la figure 9 en trait plein.

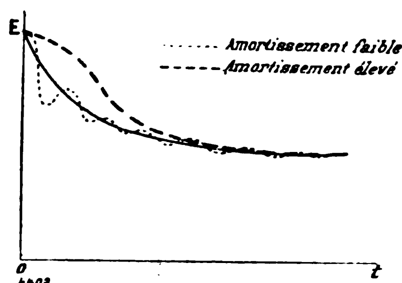



Fig. 9. — Courbes de polarisation correspondant à différents amortissements du galvanomètre.

Nous avons appliqué la méthode du pont de Wheatstone différentiel, avec différence de potentiel compensatrice dans le circuit du galvanomètre, pour déterminer la courbe de polarisation d'un accumulateur. Nous établissions d'abord l'équilibre du pont et nous nous assurions après chaque expérience que la résistance de l'élément n'avait pas sensiblement varié. Nous avons constaté qu'après un débit de 7,5 ampères pendant trois minutes, la résistance avait augmenté environ de 1/10000 ohm ; cette augmentation ne déréglait pas sensiblement le pont.

Voici les résultats des expériences :

$$R = \frac{1}{100} \text{ ohm.} \qquad R_1 = 1\,000 \text{ ohms,}$$

$$R_h = \frac{1}{100} \text{ ohm.} \qquad R_2 = 3\,035 \text{ ohms, à 3 ohms près,}$$

$$Re = \frac{25}{100} \text{ sensiblement.} \qquad R'_2 = 1\,060 \text{ ohms,} \quad \text{»}$$

donc $X = 0{,}00506$, avec une erreur relative plus petite que $\frac{1}{300}$.

Nous avons employé un galvanomètre Deprez et d'Arsonval de faible moment d'inertie shunté par 225 ohms, résistance voisine de la résistance critique. Pour nous donner l'échelle des volts correspondant aux dérivations du spot, nous avons mesuré, avant et après l'expérience, la différence de potentiel aux bornes de l'accumulateur. La connaissance de sa résistance et de l'intensité nous permettait de déterminer les forces électromotrices correspondantes.

Le temps nous ayant manqué, nous n'avons pu déterminer qu'un nombre restreint de courbes de polarisation et de dépolarisation, chacune d'elles étant le résultat de plusieurs séries d'expériences. Elles montrent (voir courbes de la fig. 10) que les variations de force électromotrice de l'accumulateur ne sont nullement négligeables et qu'il faut en tenir compte dans toutes les mesures de résistance dans lesquelles intervient la force électromotrice de l'élément en service (méthode de la perte de charge, de Munro, etc.). Ces méthodes, dans lesquelles on ne peut mesurer la force électromotrice de l'accumulateur qu'avant ou après l'avoir fait débiter, et dans ce dernier cas au bout d'un temps relativement long après la cessation du courant, ne peuvent donner que des résultats inexacts. Pour se rendre compte des erreurs que l'on peut commettre, prenons l'accumulateur Dinin que nous avons étudié, dont la résistance intérieure est d'environ 0,005 ohm. Mesurons-la par la méthode de la perte de charge $r = \frac{E - e}{I}$. Faisons-lui débiter un courant intense, 7,5 ampères par exemple, pour accroître la chute de tension $E - e$ et par suite réduire l'erreur relative sur $n$ entraînée par les erreurs commises dans les lectures de E et de $e$ ; la chute de tension à ses bornes va être de $0{,}005 \times 7{,}5 = 0{,}0375$ volt. Admettons que l'on mesure les différences de potentiel au moyen d'un voltmètre dont l'aiguille met au minimum une seconde pour

prendre sa position d'équilibre. La courbe de polarisation que nous avons tracée montre que pendant la première seconde qui suit la rupture du circuit, la force électromotrice remonte d'environ 1,5/100 volt. Lorsqu'on coupera le courant et que l'aiguille du voltmètre se sera fixée, on lira une

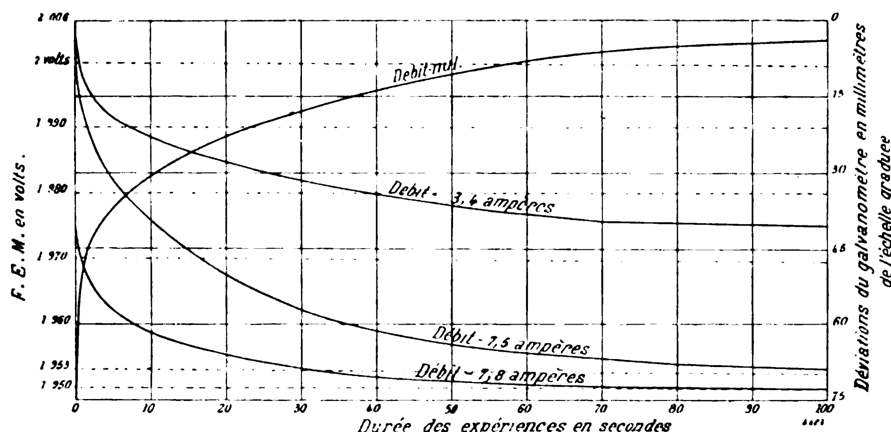



Fig. 10. — Courbes de polarisation et de dépolarisation obtenues par la méthode du pont de Wheatstone différentiel.

élévation de tension de $0{,}0375 + 0{,}015 = 0{,}0525$ volt, ce qui donne comme résistance de l'accumulateur

$$r = \frac{0{,}0525}{7{,}5} = 0{,}007 \text{ ohm}$$

résistance différant de la réalité des 2/5 de sa valeur.

Les méthodes que nous avons indiquées au début de cet exposé permettent certainement une plus grande approximation. Quoique la polarisation en gêne l'application et ne permette pas d'en retirer toute la sensibilité désirable, elles nous paraissent supérieures aux méthodes de la perte de charge, de Munro, etc., employées jusqu'à présent, et doivent leur être préférées surtout dans le cas des piles de très faible résistance.

L. Weber, H. Roberjot.

Ingénieurs diplômés de l'Ecole supérieure d'Electricité.

# AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES CALORIQUES

## CHAUVIN ET ARNOUX

MM. Chauvin et Arnoux ont créé une série d'instruments caloriques, rentrant dans la catégorie de leurs appareils dits de contrôle et pouvant, comme la plupart des instruments de mesure construits par ces ingénieurs, être utilisés avec plusieurs sensibilités, par l'emploi de shunts appropriés. Ces appareils, étant basés sur la dilatation d'un fil métallique échauffé par le courant qui le traverse, peuvent s'employer indifféremment avec les courants alternatifs et les courants continus ; ils ne sont influencés ni par les courants, ni par les champs magnétiques voisins et leurs indications sont indépendantes de la forme et de la fréquence du courant.

Le fil de dilatation $f$ (fig. 1) est attaché par l'une de ses extrémités B, à une pièce du bâti, que nous supposerons momentanément fixe ; à l'extrémité opposée A, il s'enroule sur un petit cylindre E

et se trouve arrêté et fixé au point $h$ de ce petit cylindre. Une lame de ressort LL' est insérée dans ce cylindre et maintenue, d'autre part, entre deux mâchoires fixes CC, de sorte que le seul mouvement possible du dit cylindre est produit par l'inclinaison de la lame au-dehors des mâchoires. Ce mouvement n'est pas exactement circulaire, mais on peut approximativement considérer le centre de rotation en $m$, à la sortie des mâchoires. Une contraction du fil $f$ oblige la partie enroulée

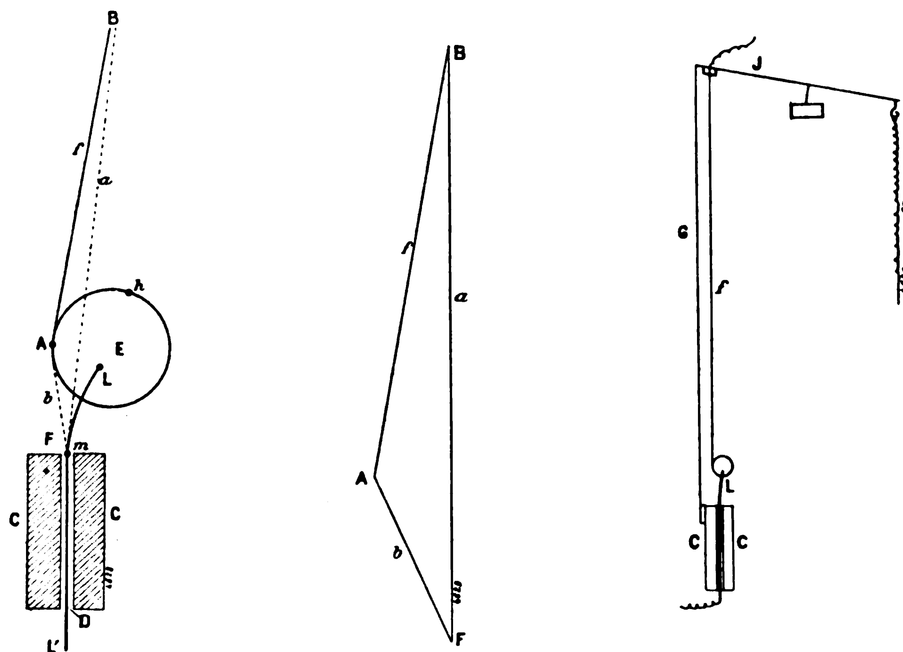



Fig. 1, 2 et 3.

sur le cylindre, à se dérouler, et produit, par suite, une inclinaison du cylindre et de la lame, vers la droite. La lame ressort LL', séparée des mâchoires C par un isolant D, sert à l'arrivée du courant au fil de dilatation.

Le cylindre E est solidaire d'un long bras ou levier, qui communique le mouvement à l'aiguille indicatrice, en amplifiant la déviation.

Considérons le triangle ABF (fig. 2), où F représente le point de sortie $m$ de la lame hors des mâchoires, B l'extrémité fixe du fil $f$ de dilatation et A le point contact de ce fil avec le cylindre. On a entre les longueurs $f$, $a$, $b$ et l'angle en F, la relation connue :

$$f^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos F$$

qui différentiée par rapport aux deux seules variables $f$ et F donne

$$fdf = ab \sin F dF,$$

les inventeurs considérant $a$ et $b$ comme des quantités constantes par construction.

On tire de là :

$$\frac{dF}{df} = \frac{f}{ab \sin F},$$

ce qui montre que la sensibilité sera d'autant plus grande que $b$ sera plus petit, et l'angle F plus voisin de zéro, c'est-à-dire l'angle A plus voisin de 180°.

Le compensateur de température est réalisé de la façon suivante : plusieurs fils G de même nature, même longueur et même section que le fil de dilatation $f$ sont tendus parallèlement à ce

dernier, fixés d'un côté au bâti C de l'appareil, et de l'autre à l'extrémité d'un fléau J, relié au bâti par une lame ressort. L'autre extrémité du fléau est sollicitée par un fort ressort à boudin S qui assure la tension des fils compensateurs (fig. 3).

Le fil de dilatation *f* est tendu parallèlement à ces fils, et a une extrémité fixée au fléau J dont il est isolé électriquement, l'autre extrémité étant, comme on l'a déjà vu, enroulée sur le cylindre E (fig. 1). De cette façon, les fils compensateurs et le fil de dilatation sont maintenus parallèles, ou, tout au moins, l'angle que peuvent faire les deux directions, est un infiniment petit d'ordre supérieur vis-à-vis de la dilatation.

Si la température modifie la longueur des fils, le ressort les maintient toujours à une tension uniforme, de sorte que l'index reste au zéro. Seule, la variation de longueur du fil *f*, sous l'influence du courant, peut donc produire le déplacement de l'aiguille indicatrice. Notons que, malgré leur proximité, le fil de dilatation ne rayonne pas sur les fils compensateurs, car il est impossible de relever aucun déplacement provenant de ce chef. L'égalisation dans la tension des fils G est constatée par le son que rend chacun des fils lorsqu'on le fait vibrer.

La rigidité de l'attache des fils et l'absence des frottements en ce point rend le système amplificateur extrêmement précis. Ce dispositif a permis d'obtenir une grande déviation de l'index pour une consommation d'énergie électrique beaucoup plus faible que celle exigée dans les appareils similaires, et par cela même a rendu possible l'emploi de shunts interchangeables peu volumineux, suivant le système appliqué aux appareils apériodiques de précision à courant continu, par MM. Chauvin et Arnoux.

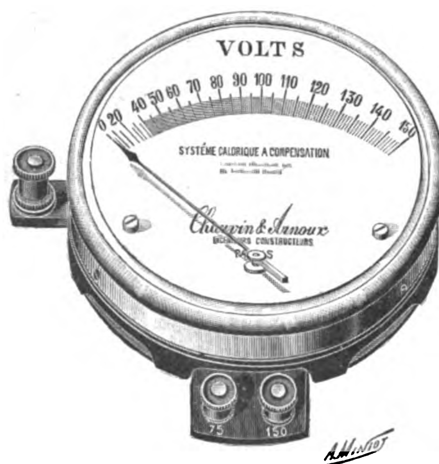


Fig. 4. — Voltmètre calorique Chauvin et Arnoux.

Les fils dilatables employés peuvent supporter accidentellement une surcharge équivalente à trois fois le courant normal sans inconvénient et si cette surcharge occasionne la perte du zéro, celui-ci peut être facilement repris au moyen d'une vis de réglage. En dévissant cette vis, on déplace l'aiguille dans le sens de la déviation. Cette vis agissant également sur tous les fils, les replace toujours dans les conditions respectives initiales, ce qui conserve le tarage de l'instrument.

Pour la déviation maxima, la consommation des voltmètres est d'environ 0,10 ampère, et à l'aide de résistances appropriées mises en série avec le fil dilaté en acier au nickel, l'appareil peut être muni de plusieurs sensibilités très différentes. Deux de ces sensibilités peuvent être placées dans le boîtier de l'instrument lui-même, les autres sont obtenues par l'adjonction en série avec l'appareil d'un cadre contenant les résistances nécessaires. Pour les voltmètres du type normal à plusieurs sensibilités (fig. 4), la première de celles-ci ne peut être inférieure à 12 volts (force électro-motrice nécessaire au système déviant) On peut cependant construire des voltmètres pour une différence de potentiel inférieure, mais il est évident que la résistance de ces appareils étant nécessairement plus faible, leur consommation en ampères sera plus élevée.

Dans ces voltmètres, la borne de gauche, commune à toutes les sensibilités, est munie d'un fusible destiné à sauvegarder l'appareil en cas de surcharge accidentelle excessive, mais la résistance électrique de ce fusible intervenant dans le tarage de l'instrument, il y a lieu de ne pas employer l'appareil sans qu'il en soit pourvu.

Le métal employé pour les résistances, n'ayant pas de coefficient sensible de température, la résistance intérieure de l'instrument est la même à chaud ou à froid.

Dans les ampèremètres, la différence de potentiel nécessaire à la déviation totale est toujours exactement de 0,15 volt. Le fil employé est un fil de cuivre. Jusqu'à 4 ampères (intensité nécessaire au système déviant), ils peuvent être employés directement, mais pour des intensités supérieures à cette valeur ils doivent toujours être employés en dérivation de shunts, produisant 0,15

de volt de différence de potentiel sous le courant maximum pour lequel ils sont construits. Deux cordons souples fixés sous l'instrument servent à le relier au shunt. Chaque shunt est muni d'une plaque sur laquelle sont poinçonnées sa résistance en microhms, et la valeur maximum en ampères du courant pour lequel il est construit.

Cette valeur maximum de l'intensité du courant correspond toujours, quel que soit celui des

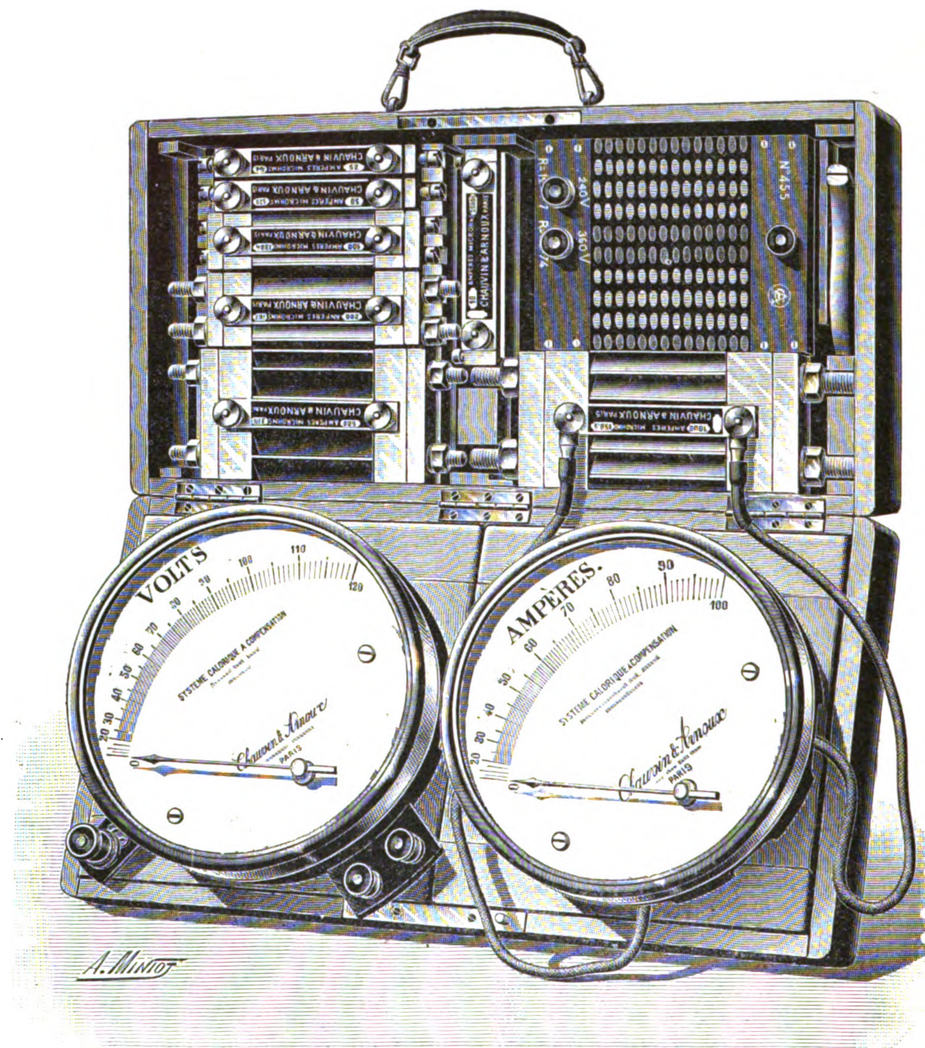



Fig. 5. — Caisse de contrôle Chauvin et Arnoux à instruments caloriques.

ampèremètres employés, à une déviation égale à la totalité de l'échelle du galvanomètre, ce qui rend tous les shunts interchangeables et permet par conséquent d'appliquer un shunt quelconque à un galvanomètre quelconque. Le métal employé pour la construction des shunts n'ayant pas de coefficient de température, il n'y a pas lieu de se préoccuper de l'augmentation de celle-ci, même si elle paraissait excessive.

Pour les ampèremètres du type normal, le shunt le plus faible ne peut être inférieur à 10 ampères. Cependant, on peut construire des ampèremètres pour une intensité inférieure, mais la différence de potentiel exigée sera plus élevée.

Les fabricants ont établi, avec ces appareils, des caisses de contrôle pour courants alternatifs comprenant (fig. 5) :

1° Un voltmètre calorique muni de résistances addionnelles non inductives, et pourvu, dans le boîtier même, de deux sensibilités corresdondant à 75 volts et 150 volts pour la totalité de l'échelle. Un cadre contient les résistances supplémentaires destinées à être mises en série pour 300 et 600 volts. La borne commune du voltmètre est munie d'un fusible de sûreté.

2° Un ampèremètre calorique à compensateur de température avec conducteurs souples pour relier les bornes aux prises des shunts. Ces shunts permettent d'obtenir le maximum de l'échelle de déviation avec 10, 25, 50, 100, 200, 500 et 1.000 ampères, ils sont munis de mâchoires appropriées au courant maximum pour lequel ils sont construits.

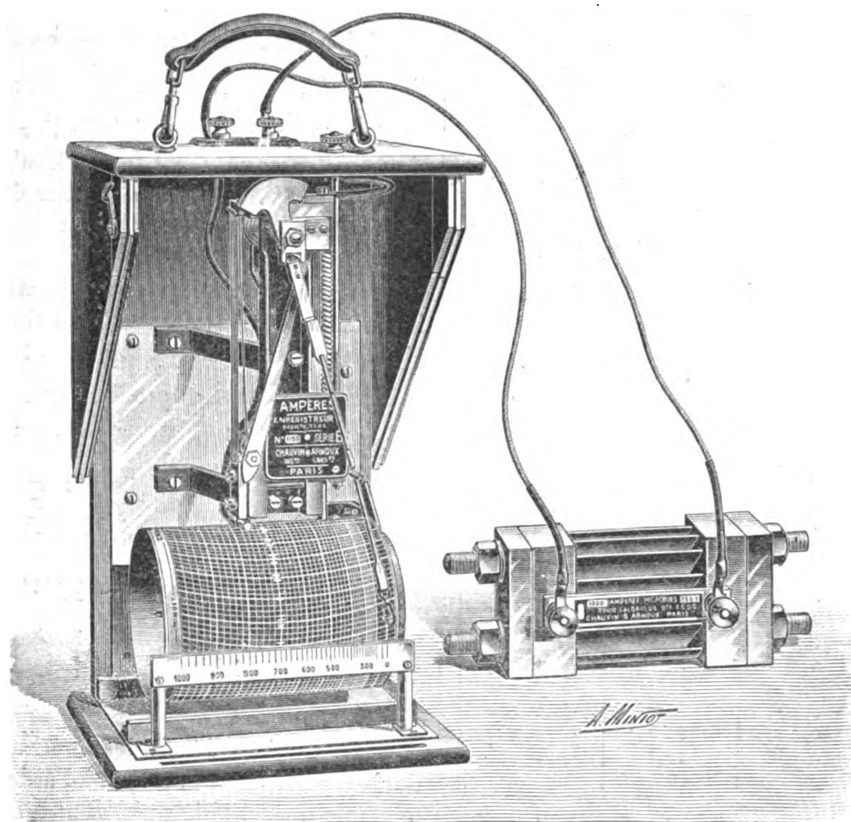



Fig. 6. — Ampèremètre calorique enregistreur Chauvin et Arnoux.

Le même principe a été appliqué aux appareils enregistreurs (fig. 6). La forme et la force des organes diffèrent seules par suite du travail plus important qu'il y a à fournir pour conduire la plume-molette.

Pour la déviation maxima, la consommation des voltmètres enregistreurs est d'environ 0,250 ampère. Pour les appareils à plusieurs sensibilités, la première correspond à 15 volts. On peut néanmoins enregistrer des différences de potentiel inférieures à cette sensibilité en augmentant l'intensité de la consommation.

Dans les ampèremètres enregistreurs, la différence de potentiel nécessaire à la déviation totale est de 0,2 volt, et l'appareil mis directement en circuit, donne toute sa déviation pour 6 ampères.

J. Reyval.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## ÉLECTROCHIMIE

***La force électromotrice des métaux dans les solutions de cyanures***, par **S. B. Christy**. *Elektrochemische Zeitschrift*, t. VIII, p. 49, 75, 104, 133, 159, 181, 198, 221.

De ce très long article, nous extrairons seulement quelques valeurs intéressantes.

Après avoir démontré la formule de Nernst

$$\pi = 0{,}0575 \log \frac{P}{p} \text{ volts}$$

dans laquelle P est, comme on sait, la tension de dissolution, et $p$ la pression osmotique, l'auteur donne le tableau suivant exprimant les forces électromotrices en fonction du quotient $\frac{P}{p}$.

| $\frac{P}{p}$ | π EN VOLTS | $\frac{P}{p}$ | π EN VOLTS |
|---|---|---|---|
| 0 | ∞ | $10^{0}$ | 0 |
| $10^{-40}$ | — 2,32 | $10^{1}$ | + 0,058 |
| $10^{-20}$ | — 1,16 | $10^{2}$ | + 0,116 |
| $10^{-10}$ | — 0,580 | $10^{3}$ | + 0,174 |
| $10^{-9}$ | — 0,522 | $10^{4}$ | + 0,232 |
| $10^{-8}$ | — 0,464 | $10^{5}$ | + 0,290 |
| $10^{-7}$ | — 0,406 | $10^{6}$ | + 0,348 |
| $10^{-6}$ | — 0,348 | $10^{7}$ | + 0,406 |
| $10^{-5}$ | — 0,290 | $10^{8}$ | + 0,464 |
| $10^{-4}$ | — 0,232 | $10^{9}$ | + 0,522 |
| $10^{-3}$ | — 0,174 | $10^{10}$ | + 0,580 |
| $10^{-2}$ | — 0,116 | $10^{20}$ | + 1,160 |
| $10^{-1}$ | — 0,058 | $10^{40}$ | + 2,320 |

Les valeurs de la tension de dissolution des différents métaux est donnée par le tableau suivant, d'après Le Blanc, en supposant que la pression osmotique de la solution normale atteint 22 atmosphères.

| Métaux. | Tension de dissolution P, en atmosphères, à la température 17° C. |
|---|---|
| Zinc. . . . . . . . . . . | $9{,}9 . 10^{18}$ |
| Cadmium . . . . . . . | $2{,}7 . 10^{6}$ |
| Thallium . . . . . . . | $7{,}7 . 10^{2}$ |
| Fer. . . . . . . . . . | $1{,}2 . 10^{4}$ |
| Cobalt . . . . . . . . | $1{,}9 . 10^{0}$ |
| Nickel. . . . . . . . . | $1{,}3 . 10^{0}$ |
| Plomb. . . . . . . . . | $1{,}1 . 10^{-3}$ |
| Hydrogène. . . . . . . | $9{,}9 . 10^{-4}$ |
| Cuivre . . . . . . . . . | $4{,}8 . 10^{-20}$ |
| Mercure. . . . . . . . | $1.1 . 10^{-16}$ |
| Argent . . . . . . . . | $2{,}3 . 10^{17}$ |
| Palladium . . . . . . . | $1{,}5 . 10^{-36}$ |

L'explication de la situation irrégulière du cuivre, de l'or et de l'argent dans les solutions de cyanures, est donnée par la formation d'ions complexes. Par exemple, le cyanure double d'or et de potassium se sépare d'abord en ions $\overset{+}{K}$ et $\overset{-}{Au\,Cy^2}$. Ce dernier se sépare en faible proportion en Au Cy neutre et $\overset{-}{Cy}$ et finalement Au Cy en $\overset{+}{Au}$ et $\overset{-}{Cy}$. Le potentiel de l'or dans les solutions de cyanures est considérablement élevé malgré la faible tension de dissolution de l'or, par suite de la faible pression osmotique de ses ions.

L'or, l'argent et le cuivre donnent lieu, dans les solutions de cyanures, à la formation d'ions électronégatifs $Au\,Cy^2$, $Ag\,Cy^2$ et $Cu\,Cy^2$.

Morgan a montré que dans une solution $\frac{M}{20}$ de $KAg\,Cy^2$, il n'existe que 3,94 $10^{-6}$ milligrammes d'ions $\overset{+}{Ag}$ par litre, tandis que la solution $\frac{M}{20}$ $Ag\,Az\,O^3$ renferme 4,36 $10^3$ milligrammes d'ions $\overset{+}{Ag}$ par litre. Le rapport de ces deux valeurs est égal à

$$\frac{4.36 . 10^3}{3.94 . 10^{-6}} = 1{,}11 . 10^9.$$

S. B. Christy décrit les méthodes de mesure du potentiel de ces métaux à l'aide de l'électrode normale d'Ostwald, puis donne ensuite les mesures effectuées par différents auteurs sur les différents métaux dans les solutions de cyanure de potassium de différentes concentrations.

Le tableau suivant résume les valeurs les plus probables résultant de ces nombreux travaux.

Après avoir montré que la force électromotrice de l'oxygène de l'air est une cause suffisante de la dissolution de l'or dans les solutions de cyanures, l'auteur conclut que la nouvelle théorie électrolytique moderne explique parfaitement les causes des réactions qui ont lieu quand l'or, l'argent ou les autres métaux sont dissous dans les solutions de cyanures ou précipités de ces solutions. La détermination des forces électromotrices des métaux dans ces solutions donne un moyen d'une grande valeur pratique pour la

| CONCENTRATION de KCy. | | FORCE ÉLECTROMOTRICE, EN VOLTS, DES DIFFÉRENTS MÉTAUX dans les solutions de cyanure de potassium. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | Log. M | Zinc. | Cuivre. | Or. | Argent. | Plomb. | Mercure. | Fer. |
| $10^{0}$ | 0 | + 0,945 | + 0,930 | + 0,420 | + 0,340 | + 0,200 | + 0,150 | — 0,030 |
| $10^{-1}$ | — 1 | + 0,870 | + 0,680 | + 0,265 | + 0,195 | + 0,160 | + 0,050 | — 0,090 |
| $10^{-2}$ | — 2 | + 0,775 | + 0,430 | + 0,090 | + 0,055 | + 0,110 | + 0,040 | — 0,120 |
| $10^{-3}$ | — 3 | + 0,415 | — 0,050 | — 0,340 | — 0,310 | + 0,070 | — 0,190 | — 0,130 |
| $10^{-4}$ | — 4 | + 0,385 | — 0,250 | — 0,450 | — 0,420 | + 0,050 | — 0,590 | — 0,140 |
| $10^{-5}$ | — 5 | + 0,355 | — 0,270 | — 0,565 | — 0,460 | + 0,040 | — 0,600 | — 0,150 |
| $10^{-6}$ | — 6 | + 0,330 | — 0,280 | — 0,620 | — 0,495 | + 0,040 | — 0,635 | — 0,160 |
| Eau distillée. | — ∞ | + 0,280 | — 0,320 | — 0,720 | — 0,570 | + 0,040 | — 0,640 | — 0,200 |

détermination du sens et de l'intensité des réactions chimiques dans les différentes circonstances. L'hypothèse de l'affinité de l'or et des solutions étendues de cyanures n'est plus soutenable, et il est vraisemblable qu'en l'absence de forces électromotrices extérieures, une solution aérée de concentration $\frac{M}{10\,000}$ ou à 0,00065 p. 100 est sans action sur l'or métallique. En pratique, des solutions de concentration moindre que 0,001 p. 100 peuvent être considérées comme n'agissant pas sur l'or métallique.

L. Jumau.

***Sur le graphite artificiel et sur le platine-iridium comme anodes***, par **Fœrster**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 143, 6 mars 1902.

L'auteur a entrepris des essais avec le graphite de l' « International Acheson Graphite-Company » qui utilise le procédé Acheson, bien connu. Le graphite est fabriqué en cylindres ou en prismes ayant, pour les premiers, jusqu'à 12,5 cm de diamètre, et pour les seconds, 13,5 × 13,5 cm² de section ; la longueur peut atteindre 90 cm dans chaque cas. Le prix atteint à la fabrique environ 0,79 mark par kilogramme. Le poids spécifique vrai de ce graphite est 2,14 ; le poids spécifique apparent est 1,65 ; d'où on déduit pour le volume des pores 22,9 p. 100 du volume du graphite. Cette porosité n'est pas plus faible que celle d'un bon charbon artificiel. La teneur en cendres n'est que de 0,83 p. 100.

Pour déterminer l'attaque de ce graphite employé comme anode, on sciait des plaques de 0,7 cm d'épaisseur et de dimensions 4 × 6,5 cm en surface, dans des blocs prismatiques de 7 × 7 cm² de section.

Les essais étaient effectués dans les mêmes conditions que ceux antérieurement exécutés par Sprösser [1]. L'intensité du courant atteignait 2 ampères pour les essais 1, 2, 4, 5 et 6, ce qui correspondait à une densité anodique de 0,04 ampère par cm².

Dans les deux premiers essais, l'anode était employée pour l'électrolyse d'une solution, neutre et chauffée à 60° C, de chlorure de sodium à 20 p. 100, en présence de chromate. L'attaque de l'anode, correspondant au travail du courant (7,4 p. 100 en moyenne pour les deux essais d'une durée de vingt-quatre heures) était plus faible que celle trouvée, dans les mêmes conditions, par Sprösser avec le charbon amorphe et le graphite français.

Dans l'essai 3 on préparait, pendant 100 heures à la température de 45° C., du chlorate de potassium en électrolysant une solution neutre de chlorure de potassium additionnée de chromate, à une densité de courant de 0,12 ampère : cm². On obtenait ainsi un rendement de 57 p. 100 en quantité, tandis que, dans les mêmes conditions, ce rendement atteignait 66 p. 100 avec une anode en platine.

L'essai 4 consistait en électrolyse, avec anode en graphite, d'acide sulfurique à 20 p. 100, à la température de 18° C. Ici l'attaque du graphite n'est pas moindre que celle donnée par le charbon amorphe. Après 25 heures d'électrolyse, le poids de dépôt atteignait 6,75 gr ; l'analyse des gaz montrait pour le poids de graphite brûlé, la valeur 6 gr en supposant la combustion complète en acide carbonique.

---

[1] *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VII. p. 975. Voir *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 352, 8 mars 1902.

Les essais 5 et 6 effectués à l'aide d'une solution binormale de soude, aux deux températures 20° et 60° à 70° C. montraient que l'anode en graphite peut être considérée comme inattaquable à la température ordinaire. A température plus élevée, l'attaque devenait plus vive ; mais l'électrolyte ne se colorait que faiblement en jaune. Le graphite est donc très employable dans ce cas, alors que le charbon amorphe est à éviter. Le tableau suivant résume les attaques comparatives, dans les différents cas, du graphite Acheson et du graphite amorphe.

| ÉLECTROLYTE | PROPORTION DE LA QUANTITÉ d'électricité utilisée pour l'oxydation de l'anode. | |
|---|---|---|
| | avec le graphite | avec le charbon amorphe |
| Solution binormale (à 8 p. 100) de soude caustique, à 20° C. | 2 p. 100 | 50 à 78 p. 100 exceptionnellement 14 p. 100 |
| Solution à 20 p. 100 de chlorure de sodium, additionnée de chromate à 60°C. | 7,4 p. 100 | 12 à 41 p. 100 |
| Solution à 20 p. 100 d'acide sulfurique, à 18° C. | 94 à 96 p. 100 | 85 à 97 p. 100 |

On voit qu'au point de vue de la résistance à l'attaque chimique, le graphite l'emporte d'autant plus sur le charbon amorphe que la concentration de l'électrolyte en ions hydroxyle est plus élevée, c'est-à-dire que le potentiel anodique devient plus faible. Pour un potentiel anodique comme celui qui règne dans l'électrolyse de l'acide sulfurique étendu, il n'y a pas de différence, et dans les deux cas, presque tout l'oxygène libéré est employé à oxyder le charbon.

Dans l'électrolyse des chlorures alcalins, le graphite n'est cependant pas complètement inattaquable ; il se brûle peu à peu et doit être remplacé après un certain temps. Dans ce cas, le platine ou le platine-iridium constitue encore l'anode idéale, à cause de leur résistance chimique toute spéciale. On est parvenu, par suite des progrès dans l'industrie du platine, à fabriquer des anodes renfermant un si faible poids de platine-iridium qu'elles peuvent faire concurrence aux anodes en charbon, au point de vue du prix d'achat.

Les difficultés rencontrées d'abord dans la fabrication de telles anodes à grande surface et de poids aussi faible que possible étaient de deux sortes. D'abord, les places minces présentaient une tendance à se casser et à se déchirer. On doit à la maison W. C. Heraeus, de Hanau, d'avoir reconnu que cet inconvénient provient de la teneur en ruthénium, et d'avoir établi un procédé de séparation de ce métal dans l'iridium. D'autre part, de telles anodes très minces manquent de rigidité ; de plus, par suite de la conductibilité relativement faible du platine-iridium, une répartition uniforme du courant devient incertaine pour les hautes densités de courant. La maison précédente y remédie en constituant l'anode à l'aide d'un tube de verre scellé à la partie inférieure et dans lequel sont soudés quelques conducteurs très minces en platine-iridium, disposés parallèlement entre eux et perpendiculairement au tube ; sur ces fils on soude des bandes de 2 cm de largeur, en platine-iridium de 0,0075 mm d'épaisseur. Des câbles de cuivre, qui enfonçent dans le tube de verre et sont reliés par une goutte de soudure aux fils de platine, servent à amener le courant. On obtient ainsi des électrodes qui possèdent une rigidité satisfaisante tout en ne nécessitant, pour une surface totale de 2 dm², que 2 gr. de platine-iridium (90 p. 100 de platine et 10 p. 100 d'iridium). Ces nouvelles électrodes développent 4 à 6.5 fois plus de surface, pour le même poids de platine, que les anciennes électrodes d'épaisseur 0,03 à 0,05 mm.

Le Dr A. Chilesotti a exécuté avec ces nouvelles électrodes des expériences en vue de déterminer leur durée et leur conductibilité. Utilisées aussi bien comme anodes que comme cathodes pour la préparation du chlorate de potassium, dans une solution de chlorure de potassium additionnée de chromate, elles ne présentaient pas le moindre endommagement après passage de 2 500 ampères-heure à la densité de courant 1 000 ampères : m², à la température de 45°. La conductibilité d'une telle électrode n'était pas moindre que celle d'une anode en platine-iridium, de même forme et même grandeur, mais d'épaisseur 0,2 mm et dont l'arrivée du courant se faisait par un conducteur de platine soudé au bord supérieur. La tension du bain était d'ailleurs la même dans un cas comme dans l'autre.

L. JUMAU.

***Recherches sur l'attaque des anodes en platine-iridium, dans l'électrolyse des chlorures alcalins,*** par **P. Denso.** *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. VIII, p. 147, 6 mars 1902.

Haber a montré antérieurement que les alliages platine-iridium, à 10 et 25 p. 100 d'iridium ne sont pas attaqués pendant l'électrolyse de l'acide chlorhydrique à différentes concentrations et en employant des températures variables. Cependant ces expériences ne portaient que sur des quantités d'électricité faibles (3 ampères-heure).

L'auteur a entrepris des essais de plus longue durée sur deux séries d'électrodes de platine-iridium renfermant 7,6 à 15 p. 100 d'iridium, construites par la maison W.-C. Heraeus, de Hanau. Elles étaient constituées à l'aide de feuilles de platine-iridium de 0,007 mm d'épaisseur, soudées à un conducteur de 1 mm diamètre, en même alliage. Les unes de 40 mm largeur et 125 mm longueur avaient une surface totale de 1 dm²; les autres, de largeur moitié n'avaient que 0,5 dm² de surface des deux côtés.

Ces différentes électrodes servaient à l'électrolyse de solutions de chlorures alcalins, dans différentes conditions.

Le tableau suivant indique le résultat des différents essais. Les solutions de chlorure de potassium étaient additionnées de 2 p. 100 de chromate jaune de potassium. Pour l'électrolyse des solutions de chlorure de sodium, l'anode se trouvait dans un grand excès de liquide (environ 7 litres), pendant que la cathode, en tôle de fer, plongeait dans un grand vase poreux en argile, dont le contenu était éliminé dès que la concentration en soude caustique avait atteint une certaine valeur, et remplacé par une solution fraîche et concentrée de chlorure de sodium.

| NUMÉRO de l'essai. | ÉLECTRODE | ÉLECTROLYTE | INTENSITÉ de courant I en amp. et densité de courant *d* en amp. : dm² | POIDS DES ÉLECTRODES | PERTE |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 p. 100 Ir. S = 1 dm² | Chlorure de potassium, sans diaphragme T = 20 à 50° C. | I = 10,5 d = 10,5 | Au commencement : 4,8745 gr. | |
| | | | | Après 800 amp.-h. : 4,8744 — | 0,0001 gr. |
| 2 | 10 p. 100 Ir. S = 1 dm² | Chlorure de potassium, sans diaphragme T = 80° C. | I = 30 d = 30 | Au commencement : 6,7705 gr. | |
| | | | | Après 1200 amp.-h. : 6,7700 — | 0,0005 gr. |
| 3 | 10 p. 100 Ir. S = 1 dm² | Chlorure de sodium, avec diaphragme T = 20° C. | I = 10 d = 10 | Au commencement : 8,4525 gr. | |
| | | | | Après 240 amp.-h. : 8,4525 — | 0,0000 gr. |
| 4 | 9,5 p. 100 Ir. S = 1,2 dm² | Chlorure de sodium, avec diaphragme T = 80° C. | I = 20 d = 16,7 | Au commencement : 9,8910 gr. | |
| | | | | Après 200 amp.-h. : 9,8875 — | 0,0035 gr. |
| | | | | — 400 — 9,8871 — | 0,0004 — |
| 5 | 7,63 p. 100 Ir. S = 0,5 dm² | 20 p. 100 HCl T = 80° C. | I = 10 d = 20 | Au commencement : 5,4061 gr. | |
| | | | | Après 70 amp.-h. : 5,4051 — | 0,0010 gr. |
| | | | | — 140 — 5,4044 — | 0,0006 — |
| | | | | — 210 — 5,4044 — | 0,0000 — |
| 6 | 9,5 p. 100 Ir. S = 0,5 dm² | 20 p. 100 HCl T = 80° C. | I = 5 d = 10 | Au commencement : 5,6588 gr. | |
| | | | | Après 10 amp.-h. : 5,6559 — | 0,0029 gr. |
| | | | | — 50 — 5,6552 — | 0,0007 — |
| | | | | — 80 — 5,6550 — | 0,0002 — |
| 7 | 9,5 p. 100 Ir. S = 0,5 dm² | 20 p. 100 HCl T = 80° C. | I = 10 d = 20 | Au commencement : 5,6620 gr. | |
| | | | | Après 10 amp.-h. : 5,6620 — | 0,0000 gr. |
| | | | | — 35 — 5,6620 — | 0,0000 — |
| | | | | — 95 — 5,6620 — | 0,0000 — |
| 8 | 9,88 p. 100 Ir. S = 0,5 dm² | 20 p. 100 HCl T = 80° C. | I = 10 d = 20 | Au commencement : 5,3367 gr. | |
| | | | | Après 70 amp.-h. : 5,3360 — | 0,0007 gr. |
| | | | | — 140 — 5,3360 — | 0,0000 — |
| 9 | 15,05 p. 100 Ir. S = 0,5 dm² | 20 p. 100 HCl. T = 80° C. | I = 10 d = 20 | Au commencement : 5,3700 gr. | |
| | | | | Après 70 amp.-h. : 5,3695 — | 0,0005 gr. |
| | | | | — 140 — 5,3660 — | 0,0035 — |
| | | | | — 200 — 5,3658 — | 0,0002 — |

A propos de l'essai 8, on doit remarquer que l'électrode avait une proportion de 9,88 p. 100

d'iridium ordinaire, tandis que dans les autres essais, on avait employé l'iridium le plus pur. Bien que la teneur, du premier en Rh, Ru, Fe et Cu soit plus élevée, la différence d'attaque entre les deux est à peine appréciable.

Dans l'essai 9, la plus grande diminution (0,0035 gr.) de 70 à 140 ampères-heure doit s'expliquer par la présence de certains points non homogènes mécaniquement, et où se produisaient de petits trous.

Le tableau montre que la perte en poids, plus élevée au début, tend vers zéro dans la suite. On peut attribuer ce fait au laminage qui produit une couche superficielle sur laquelle existent des points présentant une plus faible résistance à l'attaque.

Les essais 1 à 3 montrent que les électrodes employées résistent particulièrement à l'attaque chimique. On voit aussi qu'il n'y a pas de différence essentielle entre les teneurs 7,5, et 15 p. 100 d'iridium, ce qui est d'autant plus remarquable que l'alliage à 7,5 p. 100 d'iridium se dissout facilement et rapidement dans l'eau régale, ce qui n'a pas lieu avec l'alliage à 15 p. 100.

L'auteur conclut de ces essais que les électrodes en platine-iridium d'épaisseur extrêmement faible 0,007 mm possèdent, pendant une longue électrolyse de solutions de chlorures alcalins, une telle résistance chimique à l'attaque, que leur emploi ne présente aucune objection. L. Jumau.

## ESSAIS ET MESURES

***Essais des matériaux électriques*** par le Dr **Paul Holitscher**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 147 et 170, 20 et 27 février 1902.

La Société des électriciens allemands (Verband Deutscher Electrotechniker) a nommé une commission chargée de l'essai des différents matériaux se rapportant à la technique des courants électriques industriels. Cette commission, ne se trouvant pas encore en mesure d'édicter des règles définitives, s'est d'abord préoccupée de recueillir les renseignements les plus divers près des ingénieurs ayant eu à s'occuper d'essais de ce genre.

Ces circonstances ont déterminé l'auteur à publier les résultats des essais qu'il a effectués dans le courant de ces deux dernières années au laboratoire de l'Electricitäts-Actien-Gesellschaft, autrefois W. Lahmeyer et Cie, à Francfort-sur-le-Mein : dans ces résultats, l'auteur se contente, par un sentiment de discrétion bien compréhensible, de désigner les fournisseurs par des lettres, A, B, etc.

I. Toles de fer. — Les essais de tôles ont déjà été étudiés par une « Commission d'hystérésis » présidée par le Dr J. Epstein, laquelle commission a édité des règles concernant ces essais [1].

L'essai consiste dans la détermination du chiffre des pertes, exprimé par la perte en watts par kilogramme, pour l'induction 10000 et la fréquence 50. Il est très important de s'assurer que la fourniture est homogène, ce qui permet, pour les calculs de machines, de se fier aux chiffres des essais : pour cela, on relève les pertes sur 10 kg de tôles prises dans chaque wagon. Pour des tôles de 0,5 mm d'épaisseur, à 10 p. 100 près, le chiffre des pertes ne doit pas dépasser 4,4 : au-dessus de cette valeur, la fourniture est à refuser ; d'ailleurs la perte la plus grande relevée par l'auteur a été 5,2.

II. Fers, fontes et aciers. — Pour ce qui concerne les fers, fontes et aciers, les fournisseurs joignent ordinairement à leurs offres le certificat d'essais de l'Institut royal technique de physique.

On peut s'en contenter, mais il faut que ce certificat soit présenté sous forme d'un tableau synoptique, permettant de se rendre compte d'un seul coup d'œil des propriétés magnétiques du métal aux différentes inductions, car il y a des métaux qui nécessitent relativement peu d'ampère-tours aux faibles inductions et deviennent mauvais aux fortes inductions, ou inversement. La table suivante *est relative aux aciers coulés* de trois maisons.

La dernière ligne correspondant aux pertes d'énergie a peu d'importance : mais si l'on veut en tenir compte, il serait désirable qu'elle fût établie pour la même valeur de l'induction pour tous les métaux de même nature.

III. Conducteurs nus. — Rentrent aussi dans cette catégorie les conducteurs entourés de coton ou de soie, sans autre isolant, pour lesquels les essais doivent comprendre l'étude de la conductibilité d'abord, puis de la résistance à la rupture, et bien rarement de l'isolement de l'enveloppe.

---

[1] Voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1901, n° 38.

TABLEAU I. — *Acier coulé.*

| B. | MAISON A | | MAISON B | | MAISON C | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | H en montant | H en descendant | H en montant | H en descendant | H en montant | H en descendant |
| 18 000 | — | — | 121,0 | 121,0 | 111,0 | 111,0 |
| 17 500 | 132,0 | 132,0 | 93,5 | 90,0 | 80,0 | 80,0 |
| 17 000 | 106,0 | 101,5 | 71,0 | 67,0 | 60,0 | 55,8 |
| 16 500 | 82,0 | 76,0 | 53,0 | 48,0 | 43,5 | 37,5 |
| 16 000 | 62,0 | 55,0 | 39,8 | 32,5 | 32,5 | 25,2 |
| 15 500 | 47,5 | 38,5 | 31,2 | 21,0 | 24,8 | 16,5 |
| 15 000 | 37,5 | 27,1 | 24,5 | 12,5 | 20,0 | 12,2 |
| 14 000 | 24,0 | 13,5 | 16,0 | 4,6 | 13,2 | 6,6 |
| 13 000 | 16,9 | 6,8 | 11,5 | 1,7 | 10,0 | 4,4 |
| 12 000 | 12,9 | 3,8 | 9,0 | 0,2 | 8,8 | 3,0 |
| 11 000 | 10,1 | 2,0 | 7,0 | —0,5 | 6,9 | 1,7 |
| 10 000 | 9,0 | 0,9 | 5,8 | —0,8 | 5,8 | 1,0 |
| Perte en ergs par cm³. | 20 200 ergs pour B = 17 610 | | 18 200 ergs pour B = 18 110 | | 136 00 ergs pour B = 18 150 | |

*a*) *Fils de cuivre.* — Le meilleur procédé pour mesurer la conductibilité des fils de cuivre, est d'employer le pont double de Thomson, en opérant sur des bouts de 50 cm ; on peut mesurer ainsi des résistances allant de 0,000001 ohm à 0,1 ohm.

Dans ces essais, il faut bien prendre garde à la température et veiller à ce que ni le fil à mesurer, ni le fil de laiton du pont ne s'échauffent pendant la mesure. On aura soin, spécialement pour les fils de gros diamètre, de les mettre dans la pièce où se fait la mesure, qui est maintenue à température constante, au moins un jour d'avance pour qu'ils prennent exactement cette température, et on réduira la valeur trouvée à 15° C., au moyen du coefficient de température, 0,004 par degré C.

Si l'on veut de cette mesure déduire la résistance spécifique, en $\frac{\text{cm}}{\text{cm}^2}$, par exemple, il faut déterminer la section du fil. Pour obtenir la section du fil, le meilleur moyen est de la déduire du poids et de la longueur, ce qui est facile, quand on connaît la densité du cuivre : cette densité, relevée sur les échantillons de cuivre de 11 fournisseurs différents, a varié seulement entre 8,91 et 8,95 : on aura toute sécurité et une grande précision en adoptant une fois pour toutes la valeur moyenne 8,93.

Les écarts entre la section vraie, déterminée par ce procédé, et la section indiquée par le constructeur sont souvent considérables, aussi bien pour le cuivre en fil rond que pour le cuivre en lames, et les règles concernant les essais de cuivre devront comporter un écart maximum admissible entre la section vraie et la section indiquée.

La table II se rapporte à quelques échantillons de fils ronds pour dynamos.

TABLEAU II. — *Fils pour dynamos.*

| SECTION COMMANDÉE | | SECTION déterminée par le poids et la densité | ÉCART 0/0 |
|---|---|---|---|
| Diamètre 0,1 mm. | Section en mm² | | |
| 46 | 16,6 | 17,9 | + 7,8 |
| 25 | 4,90 | 4,42 | — 9,8 |
| 8,5 | 0,567 | 0,525 | — 7,4 |
| 7 | 0,385 | 0,326 | — 15,3 |

Pour les lames de cuivre, l'écart est aussi assez grand, à cause de l'arrondi des coins. L'expérience montre qu'on peut alors calculer la section en assimilant l'extrémité à une ellipse dont le demi petit axe $\frac{a}{2}$ (fig. 1) est donné par l'expression

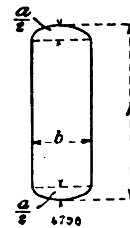



Fig. 1.

$$\frac{a}{2} = 0,8 \text{ mm},$$

ce qui conduit à la formule pour la section :

$$S = b\,(h - a) + \frac{ab\pi}{4} = b\,h - 0,35\,b. \qquad (1)$$

La table III, montre la concordance entre la formule (1) et la mesure directe par poids et densité.

Tableau III. — *Bandes de cuivre.*

| MAISON | SECTION commandée en mm² | SECTION calculée par la formule (1) | SECTION mesurée par poids et densité | ÉCARTS en o/o sur la section : commandée | calculée par (1) |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 1,7 × 10 = 17,0 | 16,4 | 16,3 | — 4,1 | — 0,6 |
| » | 2,5 × 8 = 20,0 | 19,2 | 19,4 | — 3,0 | + 1,0 |
| » | 2,5 × 12 = 30,0 | 29,2 | 29,4 | — 2,0 | + 0,68 |
| » | 4,0 × 11 = 44,0 | 42,6 | 42,8 | — 2,7 | + 0,47 |
| » | 5,0 × 12 = 60,0 | 58,3 | 58,0 | — 3,3 | — 0,52 |
| » | 7,5 × 11 = 82,5 | 79,9 | 80,5 | — 2,4 | + 0,76 |
| B | 2,0 × 15 = 30,0 | 29,3 | 29,2 | — 2,7 | — 0,3 |
| » | 2,5 × 13 = 32,5 | 31,7 | 31,7 | — 2,5 | ± 0,0 |
| » | 3,0 × 6 = 18,0 | 17,0 | 17,05 | — 5,3 | + 0,3 |
| » | 3,0 × 15 = 45,0 | 44,0 | 43,0 | — 4,4 | — 2,3 |
| C | 0,3 × 25 = 7,5 | 7,4 | 6,7 | —10,6 | — 9,4 |
| » | 3,5 × 18 = 63,0 | 61,8 | 62,1 | — 1,4 | + 0,5 |

On voit qu'à une seule exception près, l'écart maximum entre la section calculée par la formule (1), et la section vraie, est 2,3 p. 100; quant à l'écart spécial — 9,4, il est dû à ce que la bande de cuivre correspondante n'avait pas les dimensions indiquées, mais présentait seulement une épaisseur de 0,27 mm au lieu de 0,3.

Il semble donc possible d'imposer aux constructeurs, aussi bien pour le cuivre en fils que pour le cuivre en barres, un écart maximum admissible de 2 à 3 p. 100, sur les sections commandées.

*b*) *Câbles en cuivre.* — La section effective d'un câble se déterminera aussi par poids et densité: comme elle est plus difficile à réaliser exactement, l'écart maximum admissible pourra être un peu augmenté, et porté à 5 ou 6 p. 100.

Le rapport entre la section effective et la section apparente d'un câble est une donnée très importante pour le constructeur électricien, qui a souvent besoin de connaître à l'avance l'espace qu'occupera son enroulement; la place disponible étant souvent très réduite, il importe que ce rapport soit aussi grand que possible, et sauf conventions spéciales, on refusera tout câble dans lequel ce rapport descendrait au-dessous de 70 p. 100.

On peut encore déterminer la section effective par deux autres procédés :

1° On mesure la longueur L du tronçon de câble à étudier, la longueur *l* d'un fil développé (moyenne des longueurs de 3 ou 4 fils occupant des positions différentes), $\delta$ le diamètre d'un fil (moyenne d'au moins 20 mesures), $z$ le nombre total de fils; $S_e$ la section effective est alors donnée par

$$S_e = z \frac{\pi \delta^2}{4} \frac{l}{L}.$$

2° On mesure la résistance *r* du tronçon de câble, et la résistance spécifique $\sigma$ d'un fil (moyenne des mesures sur 3 ou 4 fils) ; alors

$$S_e = \frac{\sigma L}{r}.$$

*c*) *Cuivre fondu.* — On recherchera une conductibilité aussi bonne que possible, en même temps qu'une parfaite homogénéité : car la conductibilité peut être très bonne en un point, et très mauvaise en d'autres points où le cuivre est poreux.

Des essais ont donné pour la conductibilité de différents échantillons, des nombres variant de 11,6 à 25,3.

*d*) *Autres conducteurs nus.* — On ne peut donner à ce sujet de règles générales : pour chaque matière, on étudiera la conductibilité comme pour le cuivre.

IV. Conducteurs isolés. — La Société des électriciens allemands a déjà édicté des règles à ce sujet ; on y attache peu d'importance à la résistance d'isolement, mais au contraire toutes les règles portent sur la tension qu'un tel conducteur peut supporter sans que l'isolant soit percé.

*a*) *Isolement à rubans de caoutchouc.* — Avant tout on déroulera l'isolant en trois ou quatre endroits sur une longueur d'au moins 40 cm, pour retirer la bande de caoutchouc para, la peser, en rapporter le poids à une longueur de 100 m, et voir si les réglements de la Société ont été suivis. Les chiffres de la table IV, relevés sur les échantillons fournis par sept maisons, en octobre 1901, montrent l'importance de cette vérification, et le peu de concordance entre les règles et l'exécution.

En outre, il faut déterminer la tension de rupture de l'isolant à sec, en entourant le câble d'une feuille d'étain sur une longueur de 30 à 50 cm, en montant progressivement la tension, et faisant un assez grand nombre d'essais : il faut opérer à sec et non dans l'eau, pour cette sorte de conducteurs.

TABLEAU IV. — *Détail du conducteur : cuivre étamé, un guipage coton, un ruban de para non vulcanisé, une couche coton, un revêtement imprégné.*

| SECTION du cuivre en mm² — | POIDS DE CAOUTCHOUC EN GRAMMES PAR 100 M : | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RÉGLEMENTAIRE (Verband D. E) | OBSERVÉ SUR LES ÉCHANTILLONS DES MAISONS : | | | | | | |
| | | A | B | C | D | E | F | G |
| 1,5 | 155 | 43 | 53 | 38 | 118 | 128 | 56 | 63 |
| 4,0 | 230 | 77 | 59 | 130 | 100 | 185 | 85 | 66 |
| 35,7 | 650 | 290 | 260 | 470 | 355 | 310 | 230 | 500 |

Enfin on vérifiera l'exécution même de l'isolant, regardant si le ruban entoure bien le conducteur, si les différentes spires se recouvrent suffisamment, si le ruban n'est pas trop tendu et cassant ; on reconnaîtra que le caoutchouc n'est pas vulcanisé, aux propriétés suivantes :

| CAOUTCHOUC NON VULCANISÉ | CAOUTCHOUC VULCANISÉ |
|---|---|
| Non élastique : ne revient pas sur lui-même quand on l'étire. | Elastique : revient sur lui-même quand on l'étire. |
| Plastique. | Très peu plastique. |
| Ne dégage, en brûlant, aucune odeur de soufre. | Dégage en brûlant une odeur de soufre très prononcée. |
| Se soude à lui-même par pression. | Ne se soude pas. |

*b*) *Isolement à couche de caoutchouc.* — Les essais comprendront : une vérification en 5 à 10 points de l'épaisseur de la couche de caoutchouc ; une application de 2000 volts entre l'âme et l'enveloppe plongée dans l'eau, après 24 heures d'immersion ; un essai de la tension amenant la rupture de l'isolant également dans l'eau : la table V montre que cette tension est fortement liée à l'épaisseur de l'isolant.

Il y aura lieu de vérifier la section du cuivre (tolérance admissible 5 p. 100 en plus ou en moins). En outre, le temps étant le plus grand ennemi des isolants au caoutchouc, on fera des essais de rupture par tension électrique sur des échantillons, après usage pendant un ou deux ans.

*c*) *Conducteurs torsadés.* — On aura soin de faire des essais entre les différents torons, à sec pour les isolements à ruban, dans l'eau après vingt-quatre heures d'immersion pour les isolements à couche de caoutchouc.

TABLEAU V. — *Détail du conducteur : cuivre étamé, une couche de caoutchouc, une bande caoutchoutée, un revêtement imprégné.*

| SECTION du cuivre en en mm² | ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE CAOUTCHOUC EN MM : | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RÉGLEMENTAIRE : V. D. E. | MESURÉE SUR LES ÉCHANTILLONS DES MAISONS : | | | | | |
| | | A | B | C | D | E | F |
| 1,5 | 0,8 — 1,1 | 0,75 | 1,63 | 0,72 | 1,37 | 1,05 | 1,45 |
| 4,0 | 1,0 — 1,4 | 0,83 | 1,45 | 1,21 | 1,20 | 0,77 | 1,47 |
| 35,0 | 1,4 — 2,0 | 1,20 | 1,95 | 1,00 | 2,35 | 1,25 | 1,80 |
| Valeurs de la tension de rupture dans l'eau salée, en kilovolts : | | 15 | 21 | 12 | 20,5 | 12,5 | 22 |

V. Coupe-circuits. — Les essais à faire sont les suivants :

*a*) Détermination de l'intensité de fusion, sur au moins 10 pièces de chaque espèce. Pour le premier, on commence à la valeur normale de fonctionnement, et on augmente l'intensité par échelons en restant une minute à chaque échelon ; pour les autres, on commence quelque peu au-dessous de la valeur trouvée pour la fusion du premier.

On note alors l'écart entre le maximum et le minimum observés, et la valeur indiquée pour le coupe-circuit. Si ces deux écarts sont considérables ou si l'écart en-dessous est négatif, il faut refuser la fourniture. Les écarts sont particulièrement sensibles pour les petites intensités comme le montre la table VI.

Tableau VI. — *Coupe-circuits pour 2 ampères et 250 volts.*

| Maison | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| Ecart du courant maximum de fusion en 0/0, sur le courant indiqué . . . . . . . . | 400 | 133 | 40 | 165 | 170 |
| Ecart du courant maximum de fusion en 0/0, au-dessus du courant indiqué . . . . . . | 200 | 50 | 25 | 110 | 150 |

A et B sont évidemment à refuser.

*b*. Mise brusque du coupe-circuit sous la tension indiquée sous un courant double du courant normal (le coupe-circuit doit fondre en moins de 2 minutes), et ensuite en court-circuit direct.

Dans les deux cas, la fusion doit être tranquille, et sans explosion ou projection de particules enflammées.

Dans le cas où ils doivent fonctionner dans un local humide, on les placera pendant une demi-heure avant l'essai au-dessus d'un appareil dégageant de la vapeur d'eau.

*c*. Estimation de la chute de tension en volts. Cette chute varie ordinairement de 0,05 à 0,18 volt.

VI. Matériaux pour résistances. — On déterminera 1° la résistance spécifique (au moyen d'un pont quelconque), et 2°, le coefficient de variation avec la température, en comparant avec un compensateur les tensions aux bornes de deux tronçons du métal, placés l'un dans l'air, l'autre dans un bain d'huile, chauffée et agitée continuellement. On aura soin de faire les lectures au moment où la tension est maximum, pour éviter les retards du thermomètre sur l'échauffement.

Le coefficient pour la nickeline entre 20° et 160°, a été trouvé égal à 0,000 0935.

Il reste alors à vérifier la plus haute température que peut supporter le métal, et aussi la façon dont il résiste à l'oxydation.

VII. Matériaux isolants. — Là, comme pour les conducteurs isolés, la résistance d'isolement pénible à mesurer et très variable avec les circonstances extérieures, importe peu : il faut la négliger, et procéder à des essais de rupture sous tension électrique. Les essais se font en appliquant une tension progressivement croissante, entre deux plaques circulaires d'une section de 10 mm² (à l'exclusion des pointes), 1° à l'état sec et froid ; 2° à une température convenable suivant les cas, et dans l'air sec ; 3° à l'état humide.

On fera un nombre suffisant d'essais : la plus

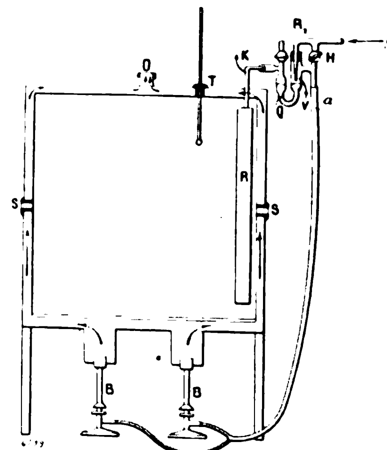



Fig. 2.

basse tension indique la rigidité électrostatique du corps, les écarts entre les différentes tensions donnent une idée de l'homogénéité de la matière.

Pour les essais à chaud, on pourra employer un thermostat à régulateur de température, tel que celui de la figure 2 ; les essais se font suivant les cas, de 70° à 100° C.

Dès que la température s'élève au-dessus de la valeur convenable, la pression de l'air dans le récipient R augmente, fait soulever le mercure qui ralentit ainsi au moyen de la pointe V l'arrivée des gaz aux brûleurs B : cet appareil permet de maintenir la température constante à ± 3° C. près.

Pour les essais à l'humidité, on place l'isolant pendant cinq heures à 50 cm au-dessus du niveau d'un appareil laissant dégager librement de la vapeur d'eau; on essuie avec du papier buvard et on fait l'essai. On vérifiera aussi le pouvoir hygroscopique de la substance en pesant un morceau de cette substance, avant et après immersion d'une heure dans de l'eau à 20° C., et la facilité avec laquelle elle supporte un échauffement donné, sans se modifier ou devenir cassante.

*a. Isolants en plaques.* — α. Produits naturels. — Le bois est interdit par les prescriptions de la Société des Electriciens Allemands : l'auteur en cite cependant quelques exemples, voir table VII.

TABLEAU VII. — *Tensions de rupture.*

| ISOLANT | ÉPAISSEUR en mm | A SEC Tension en volts. | | HUMIDE Tension en volts. | | REMARQUES |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Marbre blanc . . | 18,0 | 25,000 | | — | | Effluves lumineux intenses et sifflement violent à la rupture. |
| Marbre rouge. . | 18,0 | 13,500 | | — | | |
| Ardoise. . . . . | 18,0 | 9,000 | | — | | id. |
| | | suivant les fibres | normalement aux fibres | suivant les fibres. | normalement aux fibres. | Accroissement de poids après 24 heures dans l'eau. |
| Bois d'aune . . . | 10,7 | 24,000 | 25,000 | 7,000 | 6,500 | 30 o/o |
| Bois de poirier . | 10,8 | 10,000 | 15,000 | 3,500 | 3,500 | 21 o/o |
| Bois de hètre . . | 19,9 | 15,000 | 16,000 | 4,000 | 4,000 | 21 o/o |

TABLEAU VIII. — *Tensions électriques de rupture des isolants artificiels.*

| MATIÈRE | | ÉPAISSEUR en mm. | A FROID volts. entière | A FROID volts. fractionnée. | A CHAUD volts. entière | A CHAUD volts. fractionnée. | A L'ÉTAT humide, volts. entière | REMARQUES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presspahn | A | 1,0 | 12,000 | 8,000 | 10,000 | — | — | |
| | B | 1,0 | 11,000 | 11,000 | 11,000 | — | — | |
| | C | 1,0 | 22,500 | 9,500 | 20,000 | — | — | |
| | D | 1,0 | 17,000 | 8,800 | 14,000 | — | — | |
| | E | 1,0 | 11,000 | 7,500 | 9,200 | — | 11,000 | Accroissement de poids après 24 heures dans l'eau. 83,5 p. 100. |
| | F | 1,0 | 13,500 | 8,800 | 8,600 | — | 13,500 | 65,0 p. 100. |
| | G | 1,0 | 15,800 | 9,500 | 15,500 | — | 15,800 | 15,0 p. 100. |
| Micanite | A | 1,0 | 25,000 | — | 25,000 | 23,000 | — | Après échauffement et compression laisse sortir : beaucoup de colle. |
| | B | 1,0 | 25,000 | — | 22,500 | 20,000 | — | beaucoup de colle. |
| | C | 1,0 | 24,000 | — | 23,000 | 23,000 | — | un peu de colle. |
| Isolants spéciaux : stabilité, pérennite, etc. | A | 1,0 | 7,000 | — | 7,000 | — | 5,000 | Combustible ; se déforme après échauffement. |
| | B | 1,0 | 6,000 | — | 4,000 | — | 1,000 | Absorbe 15 p. 100 d'eau en une heure. |
| | C | 1,0 | 12,000 | — | 10,000 | — | 6,000 | Combustible : se ramollit par la chaleur. |
| | D | 1,0 | 20,000 | — | 19,000 | — | 19,000 | Combustible : se déforme par la chaleur. |
| | E | 2,0 | 25,500 | — | 19,000 | — | 15,000 | Se ramollit par la chaleur ; combustible. |
| | F | 2,0 | 28,000 | — | 24,000 | — | 23,000 | » » |
| | G | 2,0 | 21,000 | — | 20,000 | — | 17,000 | » faiblement combustible ; s'éteint. |
| | H | 2,0 | 22,000 | — | 22,000 | — | 19,000 | » |

β. **Produits artificiels.** — Il y a lieu de faire des essais entre plaques à sec, à chaud et à l'état humide : de même, pour les isolants pliables, tels que papier, toile, etc., il faut vérifier leur aptitude au pliage en les courbant sur une cheville d'un pouce, et essayer la tension électrique de rupture sur la matière biaisée. Voir table VIII.

*b. Isolants en rubans.* — Les essais se font comme précédemment, avec des nombres de couches allant en croissant ; ce qui permet, à épaisseur égale, de comparer entre eux les isolants, et de déterminer le nombre de couches à employer, pour avoir la sécurité convenable dans chaque cas. Voir figure 3.

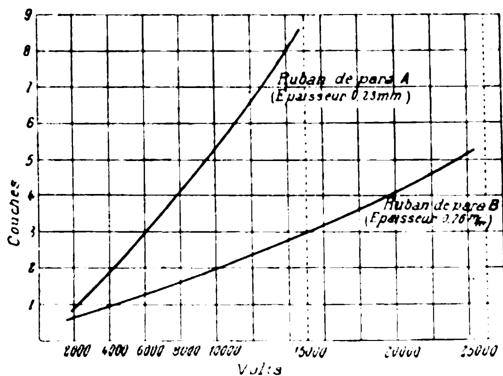



Fig. 3.

*c et d. Isolants en tubes.* — On essaie les tubes de papier, de caoutchouc et de micanite, à la tension électrique de rupture à sec entre une barre de cuivre placée à l'intérieur et une feuille d'étain enroulée à l'extérieur, d'abord à froid, puis à chaud dans un thermostat (fig. 2). L'essai à l'état humide se fait en plongeant dans l'eau salée, d'abord froide, puis chauffée à 80° C., le tube recourbé, de façon que les deux extrémités sortent de l'eau, et on verse dans le tube de l'eau salée jusqu'au niveau de l'eau dans le vase.

Pour les échantillons destinés à supporter des décharges de capacité sous haute tension et des phénomènes d'hystérésis diélectrique, on procédera à un essai de durée, en appliquant une tension alternative entre une barre de cuivre à l'intérieur et une feuille d'étain enroulée à l'extérieur, et mesurant la température soit avec un thermomètre appliqué sous feutre sur la feuille d'étain, soit avec un petit couple thermo-électrique (Acier et Constantan), connecté à un millivoltmètre (seulement au moment des mesures, après suppression de la haute tension).

Cet essai de durée est très important ; un des tubes soumis à l'essai a donné au bout d'un quart d'heure une élévation de température de 100° C., et a dû être refusé ; la figure 4 donne

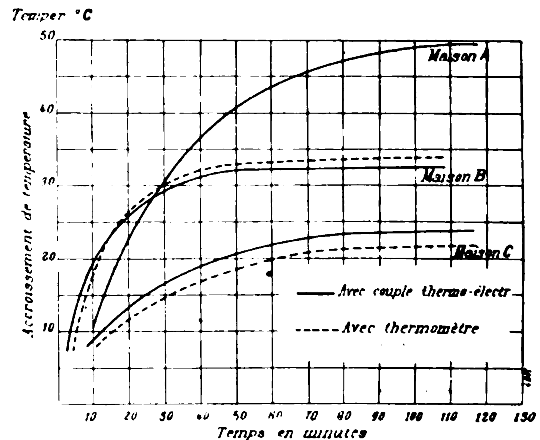



Fig. 4.

les résultats comparatifs pour trois tubes de micanite de calibre, épaisseur et forme semblables, de différentes maisons, sous la même tension.

La table IX montre les différences énormes relatives à l'ébonite : le meilleur est l'ébonite C, puis A ; de E à I, les produits sont à refuser sans hésitation.

Les essais ont été faits 1° à froid et à l'état sec ; puis 2° à chaud dans de l'eau à 80° C., et 3° humide, après un séjour de vingt-quatre heures dans de l'eau à 20° C.

Tableau IX. — *Tubes d'ébonite.*

| MAISONS | TENSIONS ÉLECTRIQUES DE RUPTURE | | | PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES |
|---|---|---|---|---|
| | 1° froid. | 2° chaud. | 3° humide | |
| A | 18 000 | 17 000 | 18 000 | demi-dur et tenace |
| B | 19 000 | 18 000 | 10 000 | dur et cassant |
| C | 15 500 | 9 500 | 13 000 | élastique |
| D | 13 000 | 8 000 | 7 000 | dur, un peu cassant |
| E | 13 000 | 4 000 | 4 500 | dur, moins cassant |
| F | 6 000 | 5 500 | 2 500 | moins cassant |
| G | 7 500 | 5 500 | 1 000 | dur et cassant |
| H | 6 000 | 4 500 | 3 000 | moins cassant |
| I | 5 500 | conducteur | 1 000 | mou et tenace. |

*e. Isolateurs à cloches.* — On les essaie en

les plaçant renversés et plongeant légèrement dans de l'eau salée, en même temps qu'on remplit d'eau salée les canaux intérieurs, reliés entre eux par des cavaliers en cuivre et on applique entre les deux pôles une tension double de la tension de l'installation. On étudie aussi la résistance à la rupture mécanique; on casse un isolateur, et on verse une goutte d'encre sur la section de rupture; la goutte d'encre doit s'étaler librement, sans laisser de traces; la cassure doit être onctueuse et blanche.

*f. Isolants fluides* (laque, etc.). — Les essais sont impossibles à l'état liquide : on opère en étudiant une toile ou un papier recouvert de cet isolant. Il faut avoir soin de mettre deux couches en laissant sécher entre les deux, les deux couches étant soit appliquées croisées au pinceau, soit obtenues par immersion, en plongeant pour l'une de haut en bas, pour l'autre de bas en haut.

Pour avoir des essais à peu près comparables, l'auteur emploie de la batiste d'une épaisseur constante, avec deux immersions et séchage à la température indiquée par le fournisseur; il fait de nombreux essais à froid et à chaud, à l'état entier et après déchirure; il vérifie aussi la non acidité des laques.

VIII. Ampèremètres et voltmètres. — Points à vérifier.

*a*. Exactitude des indications : étalonnage.

*b*. Dépense d'énergie : dépense en volts dans l'ampèremètre, en ampères dans le voltmètre.

*c*. Amortissement : temps en seconde qui s'écoule entre la mise brusque en circuit de l'appareil et le moment où l'aiguille arrive à un équilibre suffisant pour permettre la lecture.

*d*. Influence des courants voisins. Pas de règle bien absolue. On peut cependant prendre comme base l'action (en divisions de l'échelle) exercée par un courant linéaire continu de 500 ampères passant à 10 cm de la surface extérieure de l'appareil, dans la direction où cette action est maximum. Si l'on emploie un courant différent de 500 ampères, on ramènera à ce nombre, par proportion.

*e*. Influence de la variation de température. On place l'appareil dans le thermostat chauffé à 60 ou 70°, on l'y laisse pendant trois à quatre heures, et on mesure la résistance (pont ou compensateur), De cette donnée, on déduira la variation en pour cent, par degré centigrade. Il sera bon d'envoyer le courant dans les deux sens et de prendre la moyenne des deux lectures, pour éliminer l'action possible des courants thermo-électriques.

*f*. Variation des indications avec la fréquence (appareils à courants alternatifs). Elle dépend de la forme des courants employés : on ne peut donner de règle générale à ce sujet.

*g*. Essai de durée à pleine charge ayant pour but de montrer si l'appareil ne s'échauffe pas, et si les indications ne varient pas par là même.

*h*. Exécution mécanique de l'appareil, et commodité de l'échelle.

Le tableau des essais à effectuer sur un compteur est le suivant :

Tableau IX. — *Compteurs*.

*Charge non inductive.*

| | |
|---|---|
| Tension et charge normales,<br>Surcroît de tension 15 p. 100, charge normale,<br>Abaissement de tension 15 p. 100, charge normale,<br>Tension normale, charge 1/10,<br>— 1/2,<br>— 1/5, | compteurs à courants continu, alternatifs simples et polyphasés. |
| Abaissement de fréquence 20 p. 100,<br>Élévation de fréquence 20 p. 100,<br>Courbe déformée (facteur de forme 1,44). | Courants alternatifs et polyphasés. |

Charge des phases :

| I | II | III | |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0,5 | compteurs à courants triphasés pour inégale répartition des charges sur les phases. |
| 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 0,5 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | |
| 1/2 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | |
| 0 | 1 | 0 | |

*Charge inductive.*

Cos $\varphi$ : 0,85 ; 0,70 ; 0,60 ; 0,50 ; 0,40 ; 0,30. Courants alternatifs simples et polyphasés.

Dépense en pour cent de la charge.

Courant minimum de démarrage en pour cent du courant normal.

Le compteur démarre-t-il à vide pour une augmentation de 25 p. 100 sur la tension ?

Influence de la température en pour cent par degré centigrade.

Influence d'un court-circuit.

Les essais se font en relevant pendant trois minutes le nombre de tours, et par des lectures fréquentes les ampères, volts ou watts suivant les cas. De la valeur moyenne et de la constante indiquée pour l'appareil, on déduit les écarts en pour cent de la valeur vraie de la puissance.

Pour les essais sous charge inductive, on

emploiera en parallèle une batterie de lampes, et des bobines de self ou un moteur asynchrone, calé dans des positions variables ; on relèvera les valeurs correspondant à un certain nombre de cos φ, et on déduira les valeurs pour les nombres du tableau, d'une courbe résumant les essais.

La dépense de l'appareil s'obtient en continu, par des mesures de résistance, en alternatif par l'emploi d'un petit wattmètre (fig. 5).

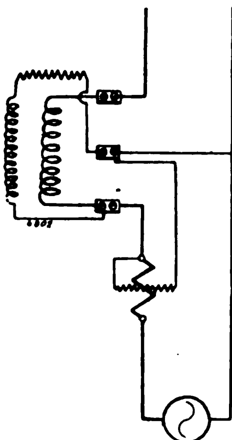


Fig. 5.

L'étude de l'action de la température se fait en plaçant l'appareil dans un thermostat, à une température de 60 à 70° C.

Pour terminer, on place en avant de l'appareil un coupe-circuit fondant au double du courant normal, et on détermine un court-circuit ; puis on refait quelques points de l'étalonnage du compteur : c'est ce que l'auteur a appelé « influence d'un court-circuit. »

Dans certains appareils, en particulier s'il y a des aimants permanents, on a observé à la suite d'un court-circuit, des écarts de 10 à 15 p. 100.

Finalement, on vérifie l'action sur les indications de la disposition de l'appareil ou d'une secousse éventuelle.

X. Interrupteurs. — Un essai de durée devra amener une élévation de température d'au plus 10° pour les interrupteurs à boite, et de 50° C. pour les interrupteurs à levier.

On appliquera ensuite entre la masse du support et les parties métalliques, et entre les conducteurs eux-mêmes, pendant un quart d'heure, des tensions égales à :

Deux fois la tension normale, jusqu'à 10000 volts.

La tension normale + 10 000 volts jusqu'à 20 000 volts.

1,5 fois la tension normale au-dessus de 20 000 volts.

On fera l'essai après une demi-heure d'exposition à la vapeur d'eau, si l'interrupteur doit fonctionner dans un local humide.

On pourra aussi, en se protégeant convenablement, faire des essais d'ouverture et de fermeture du circuit, avec une certaine surcharge en ampères et en volts.

A. Mauduit.

### *Voltmètres, ampèremètres et wattmètres enregistreurs « Bristol ».*

Ces appareils, construits par la Bristol Company, de Waterbury (Etats-Unis), représentée en France par MM. Cadiot et Cie, présentent cette particularité de ne contenir aucun aimant permanent.

Les figures 1 et 2 représentent un voltmètre. Le système mobile est constitué par une bobine A fixée sur une tige horizontale non magnétique maintenue par deux ressorts d'acier D et E ; une aiguille d'aluminium F est fixée à l'un de ces ressorts. En face de la bobine A est disposée une bobine fixe B à travers laquelle peut se mouvoir la tige DE. En C est une bobine de résistance calculée de manière à réduire convenablement l'intensité du courant dérivé à travers l'appareil. Ce courant est amené de la borne de droite de l'instrument au ressort E, passe le long de la tige FD, traverse la bobine mobile A, puis la bobine fixe B, enfin la bobine rhéostatique C. Les forces électro-dynamiques mises en jeu par ce courant déplacent la bobine A par rapport à B et ce mouvement est transmis, considérablement amplifié, à la plume d'inscription portée par l'extrémité de l'aiguille F. Un disque de papier, mis en rotation par le mouvement d'horlogerie que l'on voit sur la gauche de la figure 1, reçoit l'inscription.

Dans les ampèremètres la bobine mobile A est remplacée par un mince disque de fer doux monté encore sur une tige maintenue par les ressorts D et E. La bobine B traversée par le courant à mesurer ou une fraction connue de ce courant, a une largeur plus grande que la bobine correspondante du voltmètre.

Dans les wattmètres (fig. 3), la bobine mobile A est en fil fin et reçoit le courant dérivé; la bobine fixe B est traversée par le courant principal.

Lorsque les grandeurs électriques à enregistrer varient très rapidement, comme dans les exploitations de tramways, on munit les appareils d'un dispositif amortisseur consistant en un disque d'aluminium fixé au ressort D et enfermé dans un cylindre rempli d'huile.

Il est à remarquer que dans ces instruments la force attractive exercée par la bobine fixe B sur la partie mobile, croît très rapidement à mesure que celle-ci se rapproche de B. Cet accroissement n'étant pas compensé par un accroissement correspondant de la force de réaction des ressorts, les déplacements de l'aiguille correspondant à une même variation de la quantité à mesurer sont beaucoup plus grands pour les hautes valeurs de cette quantité que pour les faibles. C'est là parfois un avantage : par exemple, pour les voltmètres de réseaux d'éclairage qui ont besoin d'être surtout sensibles pour les valeurs les plus hautes de la

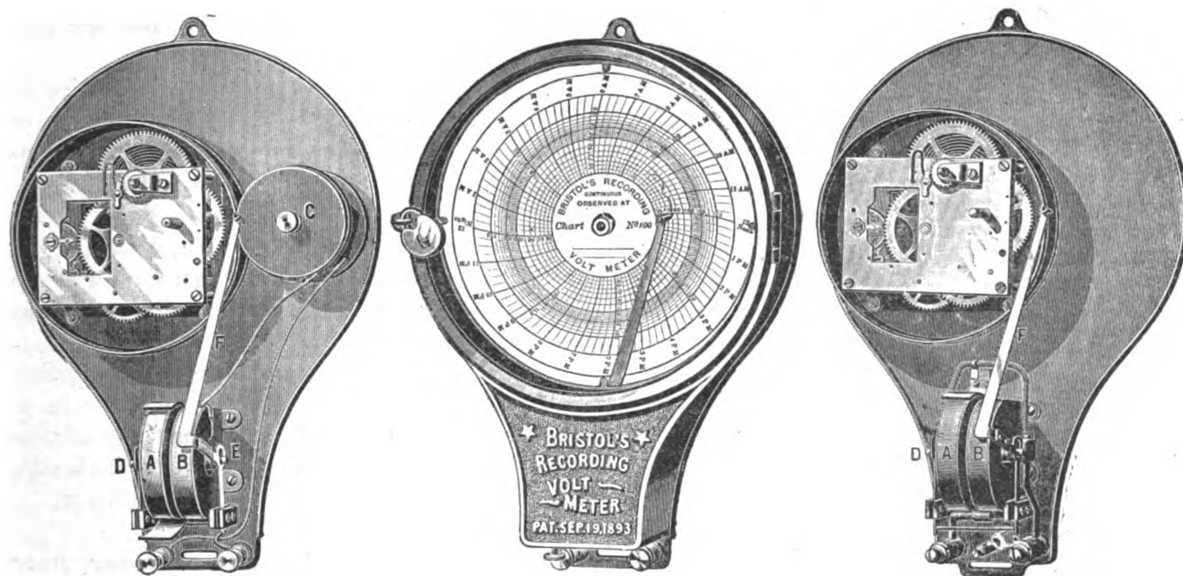



Fig. 1 à 3. — Appareils enregistreurs Bristol.

tension. Dans d'autres cas, cette sensibilité croissante de l'appareil peut être un inconvénient. Pour y remédier et obtenir des divisions très sensiblement distantes dans toute l'échelle de l'instrument, on fixe sur la tige non magnétique DE, à droite du centre de la bobine fixe B, un cylindre de fer doux ; l'action exercée par la bobine sur ce cylindre étant de sens contraire à celle exercée sur l'équipage mobile, on peut parvenir à rendre les déplacements de cet équipage sensiblement proportionnels aux valeurs de la grandeur à mesurer. J. R.

***Méthode simple pour calibrer un voltmètre lorsqu'on ne dispose pas d'une tension variable,*** par **J. Rowland Brown.** — *American Electrician*, t. XIII, p. 573, décembre 1901.

En comparant les indications des voltmètres industriels à celles d'un voltmètre étalon de haute précision, on trouve fréquemment un écart de calibrage dû à des causes autres qu'une déformation de l'aiguille ou un montage défectueux de l'instrument : si, en effet, la perturbation est due à l'une ou l'autre de ces deux causes, on s'en aperçoit à ce fait que l'aiguille ne s'arrête pas au zéro lorsque l'appareil est mis hors circuit. M. Rowland Brown ayant eu à étalonner un voltmètre industriel, fut amené à résoudre le problème suivant : obtenir de faibles différences de voltage, sans disposer d'une force électromotrice variable ou d'une boîte de résistance graduée avec précision. Le dispositif utilisé dans ce but est représenté par la figure 1.

L'appareil V qu'il s'agissait d'étalonner était monté en parallèle avec le voltmètre étalon $V_1$, et les deux instruments étaient reliés à une

source de courant, au travers d'un rhéostat à liquide R ; ce dernier consistait en une cuve en bois contenant deux électrodes reliées respectivement aux extrémités des fils A et B ; l'une des électrodes était placée au fond de la cuve, et l'autre suspendue à poste fixe juste au-dessous de la surface du liquide. Les connexions des fils avec les voltmètres sont figurées sur le schéma. On ajoute du carbonate de soude à l'eau de la cuve, jusqu'à ce que l'ampèremètre A, monté en série avec le rhéostat, indique 5 ampères.

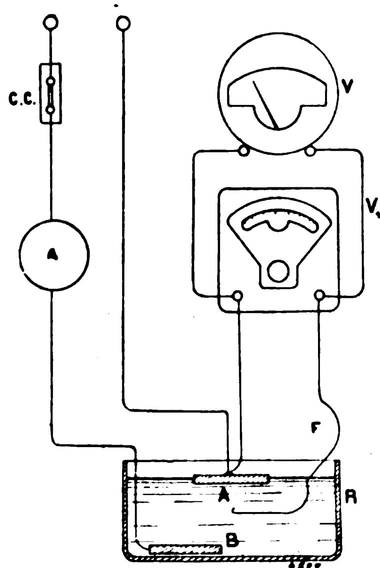



Fig 1.

On recouvre l'échelle du voltmètre défectueux V d'une feuille de papier blanc sur laquelle on trace trois repères correspondant à trois marques faites sur l'ancienne échelle. On fait la lecture du zéro, avant de fermer le circuit, et on repère la position de l'aiguille du voltmètre V sur la feuille de l'échelle à construire. La fermeture du circuit se fait par l'intermédiaire du fil sonde F, relié à l'une des bornes de chacun des deux voltmètres. On plonge l'extrémité nue de ce fil dans le liquide de la cuve en le rapprochant de l'électrode A, et en cherchant par tâtonnement à lui donner une position telle que l'aiguille du voltmètre étalon $V_1$ s'arrête à la première division de l'échelle : on repère alors la position de l'aiguille de V sur l'échelle à construire. On éloigne ensuite l'extrémité du fil sonde à l'électrode A, en la rapprochant de B, jusqu'à ce que l'aiguille de $V_1$ s'arrête en face de la deuxième division de l'échelle ; on repère de nouveau la position de l'aiguille de V et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'appareil V soit complètement étalonné. Quand enfin le fil sonde vient en contact avec l'électrode, le voltmètre étalon $V_1$ indique le voltage total du courant de la génératrice, voltage qu'on rendait aussi élevé que possible en enlevant toutes les résistances du champ.

On enlève alors du voltmètre V l'échelle ainsi obtenue, pour la reproduire, puis on colle la nouvelle échelle sur l'ancienne, en prenant soin de faire coïncider rigoureusement les marques et repères tracés précédemment.

Il n'est pas absolument nécessaire de faire en sorte que le courant, traversant la résistance liquide, ait exactement une intensité de 5 ampères : une autre intensité conviendrait aussi ; mais l'expérience a montré que, dans le cas particulier qu'on vient de décrire, il importait de maintenir la valeur de l'intensité au-dessous du point où l'eau commençait à bouillonner dans la cuve.

L'opération d'étalonnage exige l'intervention de deux opérateurs, l'un pour déplacer le fil sonde, l'autre pour repérer les positions successives de l'aiguille du voltmètre V sur la feuille de papier. G. Roesch.

***Système perfectionné de compteur pour courants alternatifs***, par le professeur **Arno**. *Elettricista*, t. X, p. 259, 1er novembre 1901.

Soient I, I′ les intensités efficaces de deux courants, décalés de $\varphi$ et passant à travers les deux enroulements inducteurs d'un appareil à champ tournant ; soient $\Phi, \Phi'$ les deux flux produits, la bobine induite se déplacera d'un angle $d$, tel que (fig. 1)

$$\Phi\Phi' \sin \varphi = Hd.$$

Si l'une des bobines inductrices est à fil fin, l'autre à gros fil, on aura :

$$\Phi\Phi' \sin (\varphi - \psi) = Cd,$$

où $\psi$ représente le retard de phase du courant I′ (fil fin), ou de $\Phi'$ par rapport à la différence de potentiel efficace V aux bornes du fil fin ;

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\lambda}{r}.$$

Si $\psi = 90°$, on aura

$$\Phi\Phi' \cos \varphi = Cd$$

ou

$$VI \cos \varphi = W = Kd$$

et l'appareil peut servir de wattmètre pour une charge inductive.

En admettant la condition $\psi = 90°$, satisfaite,

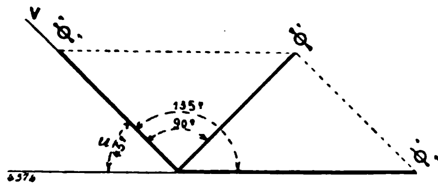


Fig. 1.

il faudra encore que l'armature du petit moteur à champ de Ferraris, ait une inductance assez faible (pas de fer), et que le couple résistant, qu'on obtient, comme à l'ordinaire, au moyen des courants de Foucault, dans un disque de cuivre ou d'aluminium, soit proportionnel au carré de la vitesse de rotation.

Pour réaliser la condition $\psi = 90°$, l'auteur emploie deux enroulements à fil fin, disposés de façon que le flux total soit exactement la résultante vectorielle des flux dus aux courants de chaque bobine. Soit alors $\Phi_1'$ (fig. 1), le flux en phase avec V, et $\Phi_2'$ en avance sur V de 135°; si on fait $\Phi_2' = \Phi_1'\sqrt{2}$, le flux résultant $\Phi'$ sera égal à $\Phi_1'$ et décalé de 90° par rapport à $\Phi_1'$, et, par suite aussi, par rapport à V.

Pour obtenir, dans un des enroulements à fil fin, un courant $i_2' = i_1'\sqrt{2}$, en avance de 135° sur V, il faut : 1° que l'impédance totale $\rho$ de ce circuit soit égale à $\frac{V}{i_2'}$; 2° que son inductance $\lambda$ soit égale à sa résistance $r_2'$ ($tg\alpha = 1$, $\alpha = 45°$); 3° que les enroulements à fil fin soient faits en sens contraire, pour obtenir un décalage de 180°, de sorte que le décalage résultant soit égal à $180° - 45° = 135°$. Dans l'autre enroulement à fil fin, la résistance $r_1'$ devra être choisie de façon que

$$r'_1 = \frac{V}{i'_1} = \frac{V_1\sqrt{2}}{i'_2} = \rho.\sqrt{2}.$$

La figure 2 représente le compteur inséré sur la ligne $ab$; $S_A$ est la bobine à gros fil, $S_V'$, $S_V''$ les bobines à fil fin; $S_C$ une bobine compensatrice destinée à vaincre les résistances dues au frottement, K l'armature du moteur à

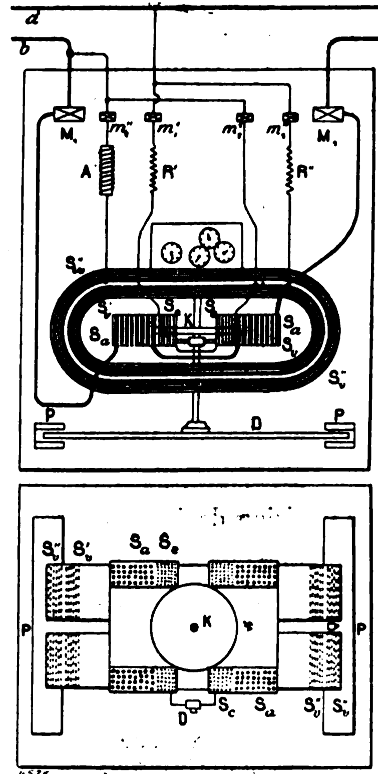


Fig. 2.

champ de Ferraris, D le disque donnant le couple résistant; les attaches des bobines $S_V'S_V''$ sont interverties; $R_s'R''$, A sont les résistances et la self destinées à réaliser les conditions ci-dessus indiquées.

P.-L. C.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

*Séance du 3 janvier 1902.*

***Les méthodes d'éclairage***, par **Louis Bell**, d'après *Transactions*, t. XIX, p. 93-115.

L'auteur se propose de discuter les systèmes d'éclairage au point de vue de l'utilité pratique, plutôt qu'en vue des détails théoriques et techniques. Si le développement de l'éclairage électrique durant le dernier quart du siècle écoulé a suivi l'essor technique de la civilisation, il faut reconnaître cependant que ces progrès ne se sont pas inspirés toujours d'un sentiment exact de l'art et de l'esthétique. On a trop oublié que l'éclairage est uniquement un problème physiologique et physique et on tend à répandre la lumière à profusion sans égard à la qualité et aux besoins actuels.

C'est un principe physiologique reconnu que l'œil s'accommode très bien de variations assez étendues dans l'éclairement. Entre les limites extrêmes où la vision devient pénible par défaut ou par excès d'éclairement, il n'y a pas de raison d'augmenter ou de diminuer ce dernier, sauf quelques circonstances spéciales ou par raison d'économie. Le but de toute source de lumière artificielle est de produire un éclairement suffisant, en quantité, pour les conditions de son emploi, et en qualité pour ne pas fatiguer l'œil ou entraîner d'autres inconvénients. Les qualités d'un foyer lumineux ne sont pas aisées à définir, cependant l'auteur en indique trois essentielles par ordre d'importance : 1° la fixité, 2° l'éclat intrinsèque, 3° la coloration.

1° En ce qui concerne la première qualité, un foyer manquant de fixité est défectueux pour deux raisons, il fatigue la rétine par suite de la succession rapide des efforts qu'elle doit faire pour combattre l'inertie visuelle due à la persistance des impressions, et il produit une tension pénible du mécanisme régulateur de l'iris, dont l'ouverture maxima peut être de 15 à 20 fois supérieure à l'ouverture minima. Ces inconvénients n'apparaissent que pour des variations d'une certaine lenteur et d'une certaine étendue, et dépendent de la sensibilité de chaque vue.

L'auteur a trouvé qu'une variation de 10 p. 100, à raison d'un ou deux maxima par seconde fatiguait sérieusement sa propre vue ; quant à la persistance des impressions, il estime qu'une suite d'extinctions, à 1/50 de seconde d'intervalle, deviennent très pénibles. Aussi l'arc alternatif est-il inadmissible à 25 périodes, et fatiguant même à 100 périodes ; quant à la lampe à incandescence, grâce à la plus grande conservation de la chaleur, l'œil peut la supporter au-dessus de 35 périodes seulement. L'orateur pense, en résumé, que toute variation rapide et fréquente de plus de 5 p. 100 doit être évitée.

2° L'éclat d'un foyer est d'une importance physiologique considérable. L'image d'une source très puissante produit sur la rétine une impression douloureuse quand elle persiste un certain temps. Il en est de même si cette image varie rapidement sur la rétine, surtout si l'iris n'a pas le temps d'entrer en fonction. Il est de règle de ne pas placer les foyers puissants dans le champ visuel, car outre la fatigue qui en résulte, l'iris se dilate tellement que les objets moins brillamment éclairés se voient très difficilement. D'autre part, l'expérience a montré qu'en ombrant ces foyers, on améliore les conditions générales de l'éclairage ; mais il est difficile d'obtenir une mesure quantitative de ce fait, si marqué qu'il soit.

Le critérium réel de ce que l'auteur appelle « l'utilisation visuelle » n'est pas l'intensité I, mais le produit $I\sigma$, où $\sigma$ est l'ouverture réelle de la pupille ; cette dernière étant fonction de l'éclat intrinsèque B, ce critérium est aussi exprimé par $\frac{I}{f(B)}$. On a une idée des valeurs de B, d'après Weber, en considérant les résultats ci-dessous exprimés en bougies par pouce carré ($6\ cm^2\ 45$).

| | |
|---|---|
| Feuille de papier blanc horizontale, en plein soleil | 25 |
| Toile blanche au soleil | 7 |
| Bec Argand | 6,5 |
| Feuille de papier blanc horizontale, journée sombre d'hiver | 0,26 |

La première intensité est beaucoup trop grande pour l'œil normal ; l'expérience prouve qu'une intensité de 5 bougies par pouce carré (0,77 bougies par cm²) est la plus élevée qui soit compatible avec les règles de l'hygiène, pour des foyers placés dans le champ visuel aux distances ordinaires de l'éclairage d'intérieur. Aussi, les sources actuelles doivent-elles être employées avec des écrans diffuseurs ; et, pour une première approximation, le rayon d'un globe diffuseur sphérique sera, en pouces (2,54 cm) $r = \frac{I}{5\pi}$, I étant le pouvoir éclairant en bougies. Il est difficile, sans perte considérable, de supprimer le noyau plus brillant qui existe dans la lumière de l'arc sous globe, mais ces foyers sont placés le plus souvent hors du champ de la vision, et l'inconvénient disparaît.

3° L'utilisation d'un foyer dépend beaucoup de la coloration de ses radiations ; ainsi dans le spectre solaire l'orangé, le jaune et le vert constituent les 80 p. 100 de la luminosité ; les radiations bleues ou rouges exigent une énergie beaucoup plus grande pour produire le même effet lumineux. L'œil fonctionnera évidemment mieux avec une lumière plus semblable à celle avec laquelle s'est faite son éducation ; mais la lumière solaire est chose variable. Au-delà de l'atmosphère, le soleil semblerait coloré en bleu ; à travers l'atmosphère, la lumière est blanche au méridien, mais quand le soleil s'approche de l'horizon, l'atmosphère filtre les rayons bleus et violets ; à 45°, la partie bleue du spectre est réduite de moitié, tandis que la luminosité générale n'a diminué que de 20 p. 100, et la coloration est d'un blanc jaunâtre ; à l'horizon, elle tire sur le rouge et le jaune orangé. La lumière diffuse est mélangée de lumière bleu du ciel et est beaucoup plus riche en radiations bleues que la lumière solaire : mais la teinte générale de la lumière naturelle est blanc jaunâtre, avec une teinte d'orangé vers le soir. Ces variations donnent souvent l'impression d'une diminution d'intensité, alors qu'il n'y a là qu'une question de coloration.

Les foyers artificiels se rapprochent généralement de la lumière solaire, sauf l'arc en vase clos, et le bec Auer (¹).

Dans l'état actuel de l'éducation de l'œil, une lumière faible en radiations bleues et vertes semble préférable, mais une évolution peut se produire qui fasse accepter une lumière verte comme celle du thallium. Il n'est pas prouvé d'ailleurs que la lumière blanche soit toujours désirable pour la comparaison des couleurs, et le choix des colorations des foyers futurs ne semble pas devoir être limité trop arbitrairement.

On peut diviser les modes d'éclairage en éclairages généraux et éclairages directs. Il y a une distinction importante à faire en effet, entre la lumière destinée à une diffusion générale et celle destinée à faciliter certaines opérations en des points déterminés. Il est, sans doute, désirable que la science puisse fournir des foyers lumineux dépensant de moins en moins d'énergie, mais, il est possible, dès maintenant, en adaptant au but que l'on poursuit les méthodes d'éclairage actuelles, en recherchant moins l'intensité que l'*utilisation visuelle*, de réaliser de sérieuses économies. Par cette expression d'*utilisation visuelle* l'auteur entend l'éclairement en tant que modifié par le mode d'application des foyers lumineux ; il y voit le seul critérium sérieux que l'on a tort de chercher dans l'éclairement mesuré suivant certaines méthodes arbitraires. Même avec le luminomètre de MM. Houston et Kennelly, l'erreur moyenne faite par un même opérateur est, suivant les inventeurs mêmes, de 10 p. 100 ; et toutes les autres méthodes ne sauraient fournir une appréciation satisfaisante de la valeur commerciale d'une source lumineuse (¹).

L'auteur estime cependant que les mesures d'intensité, les seules qui soient susceptibles d'une grande exactitude, sont aussi les seules qui puissent servir à juger de la valeur quantitative des foyers, sauf à considérer dans chaque cas leur rapport avec les mesures d'éclairement et en déduire la valeur qualitative.

L'auteur est ainsi amené à examiner la question d'un étalon de lumière, facile à reproduire

(¹) Le premier est bleuâtre, et le second verdâtre ; la lampe Hefner elle-même n'est pas plus rouge que la lumière solaire par temps couvert.

(¹) La mesure de l' « utilisation visuelle », n'en est pas plus aisée pour autant, parce qu'elle se rattache à des grandeurs physiologiques dont il est impossible de tenir compte. Mais, des essais d'éclairements supposent l'art de disposer les foyers, art qui lui-même échappe à toute mesure.

exactement et remplissant les divers desiderata relatifs à la fixité et à la coloration [1].

Il lui semble d'autant plus désirable d'arriver à un étalon universellement adopté que les résultats des différents opérateurs sont déjà suffisamment sujets aux erreurs personnelles. L'industrie s'exprime actuellement en bougies, bougies décimales, unités Kefner, et, comme unités dérivées, en lux, en bougies-mètre anglaises, en unités-mètre Hefner, etc. ; — le bougie-pied anglais ne peut prétendre à l'universalité.

L'unité dérivée la plus logique serait le lumen (Congrès de 1896) unité de *flux* lumineux, qui permet de tenir compte de la quantité de lumière émise par un foyer dans différentes directions, soit que l'on considère la lumière émise dans toutes les directions, ou, dans des circonstances spéciales, l'utilisation dans une direction déterminée. La distribution la plus commune de la lumière issue d'un foyer prend la forme d'un ellipsoïde plus ou moins aplati, et la puissance lumineuse globale doit être exprimée par l'intensité moyenne sphérique. Comme président de la Commission de la « National Electric Light Association », l'auteur a eu à rechercher une méthode simple et logique de comparaison des lampes à incandescence, et après cinq années de recherches, il considère l'intensité moyenne sphérique comme la seule base de comparaison possible, malgré les objections intéressées de constructeurs ou d'exploitants.

En ce qui concerne le choix des foyers lumineux, l'ingénieur électricien dispose aujourd'hui de l'arc nu ou en vase clos, de la lampe à incandescence, et depuis peu, de la lampe Nernst, dont aucun ne peut prétendre à une telle supériorité sur les autres de façon à s'imposer par sa puissance lumineuse, son éclat intrinsèque, sa fixité, sa coloration et son rendement, à l'exclusion des autres et dans tous les cas de la pratique.

*Eclairage général.* — L'auteur entend par là l'éclairage des grands espaces, soit en plein air, soit d'intérieur ; mais l'éclairage d'intérieur exige une plus grande quantité de lumière et certaines conditions de coloration, d'intensité et de stabilité. La lumière de l'arc a été longtemps réservée à l'éclairage extérieur, grâce à sa puissance et son bon marché ; mais son éclat et son instabilité ont obligé à entourer les foyers de globes ou à les placer hors du champ visuel. Ces inconvénients, avec en outre, la distribution défectueuse de l'éclairement, la consommation rapide des charbons, ont été un peu atténués par la multiplication des foyers que permet l'emploi de deux ou trois arcs en série sur 110 volts par l'usage de globes diffuseurs fortement teintés et de charbons de très bonne qualité. En Amérique, néanmoins, l'économie de charbons et de main-d'œuvre, la stabilité est la meilleure distribution obtenue par l'arc en vase clos, l'ont fait adopter pour l'éclairage extérieur et intérieur, malgré son défaut souvent sérieux de donner une lumière blanc bleuâtre et même violette.

Cet inconvénient est moins grave pour l'éclairage public où l'on emploie aussi l'arc enfermé à courant alternatif. La distribution de la lumière est même, pour ce dernier, meilleure que pour le courant continu, mais le rendement est bien inférieur, si on considère la puissance en bougies, l'éclairement suivant une direction donnée ou le minimum d'éclairement obtenu au milieu de la distance de deux lampes.

L'ancien arc à feu nu, dit de 2 000 bougies, malgré un flux lumineux plus grand, avait l'inconvénient de présenter une zone très éclairée à 45° du foyer, le reste étant peu éclairé. L'arc en vase clos fournit une zone éclairée plus

[1] La lampe à incandescence ne doit, à ce point de vue, être considérée que comme un bon étalon secondaire. L'étalon Violle est, selon l'auteur, peu aisé à reproduire, et d'un maniement délicat ; la bougie décimale, son sous-multiple, et le *lux* son dérivé, ne peuvent donc être considérés que comme des conceptions théoriques.

Les rapports entre les différents autres étalons du commerce sont encore mal définis. La bougie anglaise, légale en Amérique, est insuffisamment comparable à elle-même, manque de fixité, et est trop faible pour l'usage courant; sa bonne coloration est son principal mérite. La lampe Hefner, adoptée par le Congrès International de 1896, se reproduit aisément et est bien fixe ; mais son intensité est trop faible et sa coloration défectueuse enlève beaucoup d'exactitude aux mesures. L'intensité de la lampe Carcel est plus convenable, de même que sa coloration. Quant à la lampe au pentane Vernon-Harcourt, l'étalon légal anglais, elle a trouvé un excellent accueil auprès de la commission de l' « American Gas Lighting Association, qui lui a trouvé un degré élevé de constance dans des conditions très variables ; le pentane s'obtient facilement dans le commerce, et la facilité de reproduire cet étalon est aussi grande que pour la lampe à acétate d'amyle. Sa fixité, sa coloration et son intensité sont des plus satisfaisants.

étendue. L'arc nu aurait un rendement plus élevé si on l'employait avec un globe du genre « Holophane » ; mais il faut pour cela des lampes à foyer fixe qui ont, par suite de leur prix élevé, bien peu de succès aux États-Unis.

Il y a deux objets à considérer dans l'éclairage public ; il faut éclairer non seulement le sol, mais aussi les édifices : cependant la lumière distribuée trop haut au-dessus du niveau des foyers sera de peu d'effet pour l'éclairage général ; l'aspect de l'atmosphère que présente les grandes villes la nuit, donne une idée de l'énergie lumineuse perdue de ce fait. On ne peut guère compter sur la diffusion dans l'éclairage public ; la meilleure épreuve de l'efficacité des foyers est certainement leur puissance lumineuse dans une zone située à un nombre donné de degrés au-dessous de l'horizontale ; l'intensité hémisphérique inférieure est un critérium satisfaisant ; mais c'est l'impression générale que donne un éclairage à un observateur qui offrirait la meilleure base de comparaison, car, malgré la difficulté de faire une spécification à ce sujet, c'est encore là la fonction la plus instructive de l'intensité et de la distribution obtenue avec un foyer donné.

Dans cet ordre d'idées, l'orateur rappelle qu'il est admis qu'un ancien arc dit de 2000 bougies peut être remplacé par l'arc en vase clos de 6,5 à 6,75 ampères, mais avec l'avantage pour ce dernier d'une distribution plus régulière et d'une meilleure « utilisation visuelle » de la lumière. Pour l'arc alternatif, il faut prendre la lampe de 7,5 ampères comme équivalent.

Les arcs enfermés d'une intensité moindre, 5 ampères et au dessous, donnent une lumière fortement bleutée, qu'on arrive, il est vrai, à corriger en employant des charbons moins gros que dans les lampes usuelles. La subdivision exagérée de l'éclairage en foyers de faible intensité tend à augmenter l'éclairement minimum, mais « l'utilisation visuelle » en est diminuée, l'entretien plus compliqué et l'installation plus coûteuse. Poussée à l'excès, cette tendance amène un affaiblissement de l'éclairement général.

La lampe à incandescence n'a guère pu lutter, jusqu'à présent, avec l'arc pour l'éclairage public, mais l'apparition de la lampe Nernst peut être le point de départ de nouvelles méthodes d'éclairage public par foyers nombreux et peu éloignés les uns des autres (1).

Les conditions de l'éclairage des grands espaces fermés sont tout autres. Les foyers électriques ont un éclat intrinsèque trop élevé pour être employés sans globes diffuseurs, à moins qu'on éclaire par diffusion sur les plafonds avec arcs renversés. Généralement, quand on mesure dans les grandes salles ordinaires l'éclairement normalement aux foyers lumineux, la valeur obtenue est de une fois et demie à trois fois celle que l'on obtiendrait dans une salle étroite à murs noircis ; ce qui montre l'importance de la diffusion qui a non seulement, pour effet, de réduire l'énergie nécessaire à la production d'un éclairement donné, mais encore de diminuer l'importance de la distribution du flux lumineux émis par le foyer, pourvu que cette distribution ne soit pas trop excentrique. La diffusion est aussi importante pour la qualité de l'éclairement général et les parois diffusantes devront avoir une coloration à peu près semblable à celle de la lumière à obtenir (2).

Pour l'éclairage d'intérieur, c'est le flux lumineux total et non le flux dans une direction particulière qui doit faire apprécier une source de lumière, c'est lui qui détermine la quantité de lumière utilisable directement ou par diffusion.

Des foyers, qui à raison de leur éclat trop intense ou de leur coloration défectueuse, ne sauraient être employés directement, peuvent être utilisés pour la production de la lumière diffuse et produire ainsi des effets artistiques qu'on ne saurait demander à aucun éclairage direct.

P.-L. C.

---

(1) L'auteur estime à 5 kilowatts par mille (1 609 m) la dépense d'énergie nécessaire pour obtenir un éclairement satisfaisant avec l'arc, en vase clos.

(2) Un arc nu avec un globe de teinte convenable est le foyer qui se rapproche le plus de la lumière du jour.

Puis viennent la lampe Nernst, la lampe incandescence à haut rendement (3 watts et moins par bougie), les becs de gaz ordinaires, l'arc en vase clos avec courants intenses, dont on peut corriger la teinte bleuâtre avec des globes légèrement jaunâtres. Enfin, viennent le manchon Auer et l'arc clos avec courants faibles que leurs teintes vertes et bleues doivent faire rejeter quand la coloration de la lumière est une question primordiale, à moins que l'on ne les corrige avec des verres convenablement colorés aux dépens du rendement.

*Séance du 24 janvier 1902.*

***Sur l'inertie des parties tournantes d'un train***, par **N.-W. Storer,** d'après *Transactions*, t. XIX, p. 153-157.

Le problème de l'établissement de la capacité d'un moteur de traction comporte l'examen de la répartition de la puissance fournie par le moteur en effort de traction, en forces destinées à surmonter la pesanteur et l'inertie. Dans l'évaluation de la force d'inertie, on néglige trop souvent l'inertie des parties tournantes.

On préfère en général, les armatures légères et de faible diamètre pour la facilité du freinage mais on oublie trop souvent que ce résultat est obtenu aux dépens de la puissance du moteur. Des recherches récentes ont montré l'importance de ce fait dans la détermination de la puissance requise pour actionner un train (1).

L'auteur déduit d'un grand nombre d'exemples que la force d'inertie des parties tournantes d'un train est d'environ les 10 p. 100 du poids total. Dans tous les calculs, il y a 10 p. 100 d'énergie en plus à fournir que celle qui est évaluée d'après le poids mort. Cette énergie est perdue au freinage ; l'énergie totale à fournir de ce fait dépend du nombre d'arrêts, de la vitesse au moment du freinage, et de l'énergie absorbée par la résistance du train. Pour des arrêts fréquents, l'énergie perdue peut être évaluée entre 50 et 75 p. 100 de la puissance entière développée par les moteurs, et dans ce cas l'énergie requise par les parties tournantes sera de 5 à 7 1/2 p. 100 de l'énergie totale fournie.

Pour renfermer ces données dans les calculs, on peut ou bien augmenter de 10 p. 100 le poids du train pour la détermination de l'accélération, ou bien renforcer de 10 p. 100 la force nécessaire pour produire une accélération donnée. On aura ainsi une correction moyenne ; mais pour une plus grande exactitude, il sera bon de calculer la force d'inertie des parties tournantes dans chaque cas. On trouvera que pour un service à petite vitesse, avec une réduction d'engrenage considérable, le nombre 10 p. 100 sera trop faible tandis qu'il sera trop fort pour les grandes vitesses des trains interurbains.

Ce facteur entre également dans la détermination de la résistance à la traction sur rampe. Si la résistance du train comprend les frottements dans le moteur, sa valeur déduite du profil sera trop faible de 10 p. 100 ; dans le cas contraire, la correction sera peu importante, car l'inertie des parties tournantes sera à peu près compensée par les frottements du moteur. Pour une détermination rigoureuse, il faudra tenir compte à la fois des frottements et de l'inertie ; et dans ce but, on dessinera la courbe des frottements, et on déduira l'inertie des armatures et des roues d'essais préalables ou de calculs basés sur le dessin.

Des recherches de ce genre, montreront que les frottements du moteur constituent une partie importante de la résistance du train, de même que l'inertie des parties tournantes l'est pour l'inertie totale d'un train.

P.-L. G.

(1) L'auteur considère le cas d'une voiture à double truck, pesant 30 tonnes avec sa charge, avec des roues de 82,5 cm d'un poids de 318 kg, et deux moteurs de 150 chevaux chacun. Le rayon de giration des roues est d'environ 77 p. 100 du rayon des roues ; le centre de giration se meut donc avec un mouvement qui est dans le rapport de 77 à 100 avec celui du train. La force d'inertie d'une roue est donc $318 \times \overline{0,77}^2 = 188$ kg, après réduction à la vitesse du train. Avec 8 roues, c'est donc un poids de 1 500 kg ajouté à l'inertie de la voiture.

Les armatures donnent une force d'inertie de 635 kg pour un rayon de 15 cm. Avec une réduction de $\frac{18}{53}$ le centre de giration de l'armature parcourra une distance de 2,82 m pour chaque tour de l'essieu, ou pour un chemin parcouru, par la voiture, de 2,62 m. Sa vitesse relative est donc $\frac{2,82}{2,62} = 1,08$ fois la vitesse de la voiture et sa force d'inertie, réduite à la vitesse du train, est de $635 \times \overline{1,08}^2 = 745$ kg, et les deux armatures ajoutent une force de 1 490 kg à l'inertie du train ; soit pour les roues et les armatures 2 990 kg, ou environ 11 p. 100 de l'inertie totale. Si on avait pris la réduction $\frac{20}{51}$, on serait arrivé au nombre 9,5 p. 100.

*Le Gérant* : C. NAUD.

Tome XXXI. Samedi 17 Mai 1902. 9e Année. — N° 20.

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## FACTEUR DE FORME ET FACTEUR DE MAXIMUM

A la base de tous les calculs relatifs aux machines ou appareils à courants alternatifs, on trouve les deux relations fondamentales :

$$E_0 = Cfn\,\mathcal{N}_0 \qquad (1) \qquad\qquad \mathcal{N}_0 = \frac{4\pi n I_0}{\mathcal{R}}, \qquad (2)$$

qui jouent un rôle important en électrotechnique. Dans ces égalités, on désigne par $E_0$, $I_0$, $\mathcal{N}_0$, les valeurs maxima de la force électromotrice, du courant et du flux magnétique; $f$ la fréquence; $n$ le nombre de spires; $\mathcal{R}$ la réluctance; C une constante.

Les instruments de mesure ne fournissent ni $E_0$, ni $I_0$, mais leurs valeurs efficaces

$$E_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \int^{\frac{\tau}{2}} E^2\,dt\,; \qquad I_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^{\frac{\tau}{2}} I^2\,dt\,;$$

où E et et I sont les valeurs à un instant donné de la force électromotrice et du courant. Or, ce qui nous intéresse le plus dans le flux magnétique, c'est sa valeur maxima $\mathcal{N}_0$, car les pertes par hystérésis dépendent de la valeur maxima de l'induction $\mathcal{B}_0$ qui est liée à $\mathcal{N}_0$ par la formule $\mathcal{B}_0 = \frac{\mathcal{N}_0}{S}$, S étant la section du noyau de fer.

Quand la force électromotrice et l'intensité du courant varient suivant la loi sinusoïdale on a $C = 2n$, $E_{eff} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$, $I_{eff} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$. Pour une courbe de forme quelconque, on peut écrire

les relations plus générales

$$E_{eff} = \frac{E_o}{\sigma} \quad \text{et} \quad I_{eff} = \frac{I_o}{\sigma},$$

où $\sigma$ représente le facteur numérique par lequel il faut diviser les valeurs maxima pour obtenir les valeurs efficaces correspondantes. La dénomination de *facteur de maximum* d'une courbe de forme déterminée semble donc bien lui convenir. En posant $\sigma = \frac{E_o}{E_{eff}}$ (3); on voit que le coefficient $\sigma$ peut aussi être défini le rapport de la valeur maxima à la valeur efficace.

Ces définitions admises, divisons maintenant les deux membres de (1) par $\sigma$; on a

$$\frac{E_o}{\sigma} = E_{eff} = \frac{C}{\sigma} nf\mathfrak{N}_o, \tag{4}$$

relation qui permet de calculer $\mathfrak{N}_o$, ou flux magnétique maximum en fonction de la force électromotrice efficace donnée directement par les appareils de mesure. Il est facile d'établir une relation analogue entre $\mathfrak{N}_o$ et $I_{eff}$. Pour cela, multiplions et divisons le deuxième membre de (2) par $\sigma_i$ qui est le facteur de maximum de la courbe d'intensité, il vient

$$\mathfrak{N}_o = \frac{4\pi\sigma_i}{\mathfrak{R}} n \frac{I_o}{\sigma_i} = \frac{4\pi\sigma_i}{\mathfrak{R}} nI_{eff}. \tag{5}$$

La valeur de $I_{eff}$ nous est encore donnée directement par les instruments de mesure. Au lieu de l'égalité (4), on a plus généralement adopté la suivante :

$$E_{eff} = 4\varphi fn\,\mathfrak{N}_o. \tag{6}$$

où $\varphi$ est connu sous le nom de *facteur de forme* de la courbe des tensions, et défini comme le rapport entre la force électromotrice efficace $E_{eff}$ et la force électromotrice moyenne,

(7) $$E_{moy.} = \frac{1}{\frac{\tau}{2}} \int_0^{\frac{\tau}{2}} E\,dt \qquad \varphi = \frac{E_{eff}}{E_{moy.}}. \tag{8}$$

La relation (6) a été admise en électrotechnique sans démonstration rigoureusement exacte. Les essais de démonstration tentés jusqu'ici ne s'appliquent qu'à une classe particulière d'ondes, par exemple, celles où l'ordonnée maxima tombe au milieu de l'intervalle qui sépare deux ordonnées nulles consécutives, telle la courbe représentée par la figure 1. Mais si on passe aux courbes des figures 2 et 3, où l'ordonnée maxima du flux magnétique ne coïncide plus avec l'ordonnée moyenne, les démonstrations sont absolument en défaut. Par contre, la formule (4) s'applique à tous les cas possibles, car elle ne repose sur d'autres hypothèses que la loi fondamentale de l'induction et la définition de la valeur efficace. Le point de départ, pour l'établissement de la relation (6), est le suivant. Soient E et $\mathfrak{N}$ les valeurs instantanées de la force électromotrice et du flux magnétique, on a

$$E = -n\frac{d\mathfrak{N}}{dt} \quad E_{moy.} = \frac{1}{\frac{\tau}{2}} \int_0^{\frac{\tau}{2}} E\,dt = \frac{2}{\tau} \int_{+\mathfrak{N}_o}^{-\mathfrak{N}_o} nd\mathfrak{N} = \frac{4n\mathfrak{N}_o}{\tau} = 4fn\,\mathfrak{N}_o; \tag{9}$$

et d'après (8),

$$E_{eff} = \varphi E_m = 4f\varphi n\mathfrak{N}_o. \tag{10}$$

Or les deux intégrales qui entrent dans le calcul ne sont égales qu'autant que les limites

$t = 0$ et $t = \frac{\tau}{2}$ de la première coïncident avec les limites $\mathcal{N} = + \mathcal{N}_0$ et $\mathcal{N} = - \mathcal{N}_0$ de la seconde. Cette condition se trouve bien remplie dans le cas de la figure 1, mais ne l'est plus dans les figures 2 et 3. On en conclut donc que la méthode suivie pour ce calcul n'est

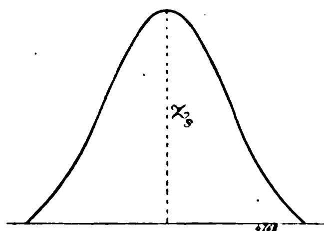


Fig. 1.

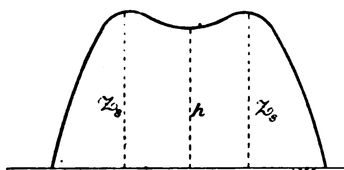


Fig. 2.

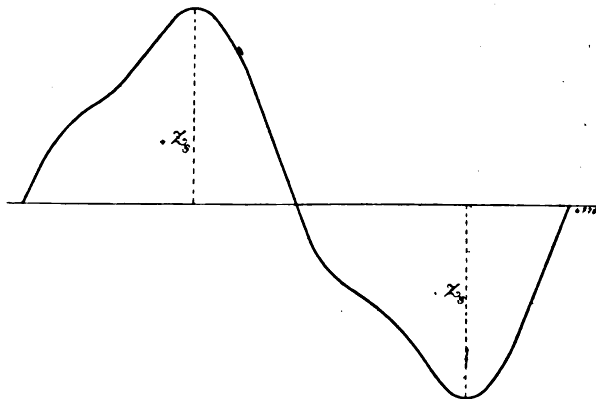


Fig. 3.

valable qu'autant que l'on a affaire à une onde où le maximum du flux magnétique correspond à l'ordonnée qui tombe au milieu de l'intervalle séparant deux points d'ordonnée nulle.

Un exemple numérique fera mieux saisir le point capital que nous nous proposons de mettre en évidence, c'est-à-dire, l'impossibilité de tirer en général la valeur maxima du flux magnétique de l'équation (6). Supposons que ce flux, correspondant à la courbe de la figure 2, soit représenté par l'équation

$$\mathcal{N} = A \sin \omega t + B \sin 3 \omega t,$$

où $\omega$ est la pulsation : $\omega = \frac{2\pi}{\tau} = 2\pi f$.

La force électromotrice induite a pour expression

$$E = - \frac{d\mathcal{N}}{dt} = - \omega A \cos \omega t - 3 \omega B \cos 3 \omega t. \qquad (11)$$

Donnons aux lettres des valeurs numériques absolument arbitraires

$$A = 60, \quad B = 15, \quad n = 1$$

$$\omega = 1, \quad \tau = \frac{2\pi}{\omega} = 6{,}28, \quad f = \frac{1}{\tau} = 0{,}16.$$

On a (¹)

$$E_{moy.} = \frac{1}{\frac{\tau}{2}} \int_{\frac{\tau}{4}}^{\frac{3\tau}{4}} E\, dt = \frac{4}{\tau} [A - B] = 28{,}7. \ (^2)$$

$$E_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{\frac{\tau}{4}}^{\frac{3\tau}{4}} E^2 dt = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \omega^2 A^2 + 9 \omega^2 B^2 \right]} = 52{,}9. \qquad \varphi = \frac{E_{eff}}{E_{moy.}} = 1{,}846.$$

(¹) Gustav Benischke, *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 674, 1900.

(²) On prend pour limites $\frac{\tau}{4}$ et $\frac{3\tau}{4}$ à cause du cosinus qui se trouve sous le signe $\int$.

En portant ces valeurs dans l'équation (6) on trouve $N_0 = 44,9$; résultat inexact comme on peut le prouver en cherchant, par une autre méthode, le maximum de $\mathcal{N}$, c'est-à-dire, en cherchant les valeurs de $\mathcal{N}$ telles que $\frac{d\mathcal{N}}{dt} = 0$,
ou

$$\omega A \cos \omega t + 3\omega B \cos 3\omega t = 0. \qquad \text{On tire de là} \qquad \cos \omega t = \pm \sqrt{\frac{3}{4} - \frac{A}{12 B}}.$$

En donnant à A et B leurs valeurs numériques 60 et 15, on trouve $\omega t = 49°50'$, d'une part, et d'autre part $\omega t = 180° - 49°50'$. Ces nombres portés dans l'expression de $\mathcal{N}$ donnent des résultats identiques, comme d'ailleurs le fait prévoir la figure 2. La valeur commune est 53,4 au lieu de 44,9. La première méthode fournit donc un nombre 19 p. 100 trop faible, ou plutôt ne donne pas le maximum, mais la valeur correspondant à l'ordonnée moyenne $h$.

Calculons maintenant, pour ce même champ alternatif dont la loi de variation est exprimée par l'équation (10), la relation entre $E_{eff}$ et $\mathcal{N}_0$. Pour cela, il faut chercher les maxima de la courbe des tensions (11), qui ont lieu pour $\omega t = 0°$ ou $\omega t = 180°$. On obtient ainsi

$$E_0 = \omega A + 3\omega B = 105,$$

et le facteur $\sigma = \frac{E_0}{E_{eff}} = 1,99$. Le rapport entre $E_0 = 105$ et $\mathcal{N}_0 = 53,4$ est donc $\frac{105}{53,4} = 1,97$.

On a identiquement

$$E_{eff} = \frac{E_{eff}}{E_0} \times \frac{E_0}{\mathcal{N}_0} \times \mathcal{N}_0 = \frac{1,97}{1,99} \mathcal{N}_0 = 0,99\, \mathcal{N}_0.$$

Telle est la relation cherchée entre la force électromotrice efficace et la valeur maxima du flux magnétique dans le cas où $f = 0,16$ et $n = 1$ : pour des valeurs quelconques de $f$ et $n$ la relation deviendra $E_{eff} = \frac{f}{0,16} \times n \times 0,99 \times \mathcal{N}_0 = 6,19\, fn\mathcal{N}_0$.

Proposons nous d'appliquer les mêmes calculs aux courbes dissymétriques de la figure 3. Elles se présentent dans les génératrices à courants triphasés par suite de la réaction d'induit et pour un facteur de puissance ($\cos \varphi$) compris entre 0,8 et 1 [1]. Admettons que le champ magnétique correspondant suive toujours la loi exprimée par l'équation

$$\mathcal{N} = A \sin \omega t + B \sin 3\omega t.$$

La force électromotrice induite est

$$E = - A\omega \cos \omega t - 3\omega B \cos 3\omega t.$$

Si on fait $A = 60$, $B = 20$, $\omega = 1$, $n = 1$, le calcul conduit aux résultats suivants [2] :

$$E_{moy.} = \frac{1}{\frac{\tau}{2}} \int_0^{\frac{\tau}{2}} E dt = \frac{4}{\tau} A = 38,3 \qquad E_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}(\omega^2 A^2 + 9\omega^2 B^2)} = 47,4. \qquad \varphi = \frac{E_{eff}}{E_{moy.}} = 1,24.$$

L'équation (6) donne $\mathcal{N}_0 = 59,8$, nombre inexact; le maximum véritable correspond à $\omega t = (90 + 15)°$ et a pour valeur $\mathcal{N}_0 = 65$.

(1) Pour les facteurs de puissance très petits (0,5 et au-dessous), l'influence de la forme de la courbe ne se fait plus sentir.

(2) La valeur moyenne $E_{moy.}$ varie d'une *courbe à une autre;* au contraire, $E_{eff}$ est toujours donné par l'égalité : $E_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}(A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots)}$, en représentant par $A_1$, $A_2$ $A_3$. ... . les amplitudes de chacun des termes de la série.

Ces deux exemples numériques mettent bien en évidence l'inexactitude de la formule (6) ou démontrent, tout au moins, qu'elle n'est applicable qu'aux courbes dans lesquelles les maxima du flux magnétique coïncident avec l'ordonnée moyenne comprise entre deux ordonnées nulles. Dans ces cas seulement, il y a identité entre les formules (4) et (6). En général, quand on voudra calculer la relation entre $E_{eff}$ et $\mathcal{N}_0$, il faudra tenir compte de la forme de la courbe comme dans le premier exemple choisi.

Le facteur de forme, introduit en électrotechnique, nous semble donc superflu et l'usage qu'on en a fait jusqu'ici, inexact. Dans la relation qui lie $\mathcal{N}_0$ et $I_{eff}$ [équation 5], le facteur de maximum intervient seul.

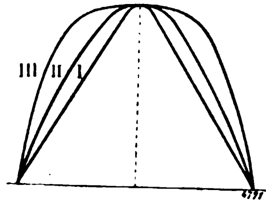


Fig. 4.

Ce facteur est d'ailleurs bien plus apte à caractériser la forme d'une courbe que le facteur de forme lui même, car, pour les courbes qui se présentent le plus souvent dans la pratique et dont trois exemples sont donnés par la figure 4, les différences entre les facteurs de maximum sont bien plus grandes qu'entre les facteurs de forme correspondants, comme le montrent les tableaux suivants :

| | $\varphi$ | Différences. | $\sigma$ | Différences. |
|---|---|---|---|---|
| I. | 1,69 | 4 p. 100. | 1,664 | 17,6 p. 100. |
| II | 1,124 | 5 » | 1,415 | 15 » |
| III | 1,067 | | 1,232 | |

Enfin le calcul de $\sigma$ est plus simple que celui de $\varphi$ où on fait intervenir la force électromotrice moyenne $E_{moy}$. Celle-ci doit se calculer pour chaque genre de courbe en particulier, tandis que la force electromotrice efficace, quelle que soit la courbe, est toujours donnée par $\sqrt{\frac{1}{2}\left(A_1^2+A_2^2+A_3^2+\ldots\right)}$, si $A_1$, $A_2$, $A_3$..... désignent les amplitudes de chacun des termes de la série.

Dr Gustav BENISCHKE,
Ingénieur en chef (Pankow).

## WATTMÈTRES ET COMPTEURS POUR COURANTS ALTERNATIFS

Le wattmètre à induction de Th. DUNCAN (1) est disposé pour mesurer la puissance réelle: UI cos $\varphi$, la puissance magnétisante UI sin $\varphi$, et il permet aussi de connaître la puissance apparente qui est la résultante des deux grandeurs ci-dessus. En réalité, l'appareil se compose d'un double système de bobines agissant sur une armature unique. Les bobines d'intensité des deux wattmètres, 5 et 12, (fig. 1 et 2), sont toujours en série et placées au-dessous du disque 3. Un commutateur, 10 et 11, permet d'employer soit les doubles bobines des volts 6,7 ou 13,14. Dans le premier cas, la bobine 6, placée en série avec une résistance sans induction, 9, reçoit le courant dérivé; à l'intérieur de celle-ci, est placée, également en

(1) Brevet anglais, n° 10 134, déposé le 1er juin 1900, accepté le 8 septembre 1900. 4 figures.

dérivation, la bobine 7 qui est jointe à une bobine de self-induction 8 et connectée en sens opposé de la bobine 6 ; de cette façon, la résultante de l'action des deux bobines, 6 et 7, est exactement en phase avec la différence de potentiel. Le couple développé sur le disque par les bobines 5, 6 et 7, est ainsi proportionnel à UI sin $\varphi$, c'est-à-dire à la puissance magnétisante ou déwattée.

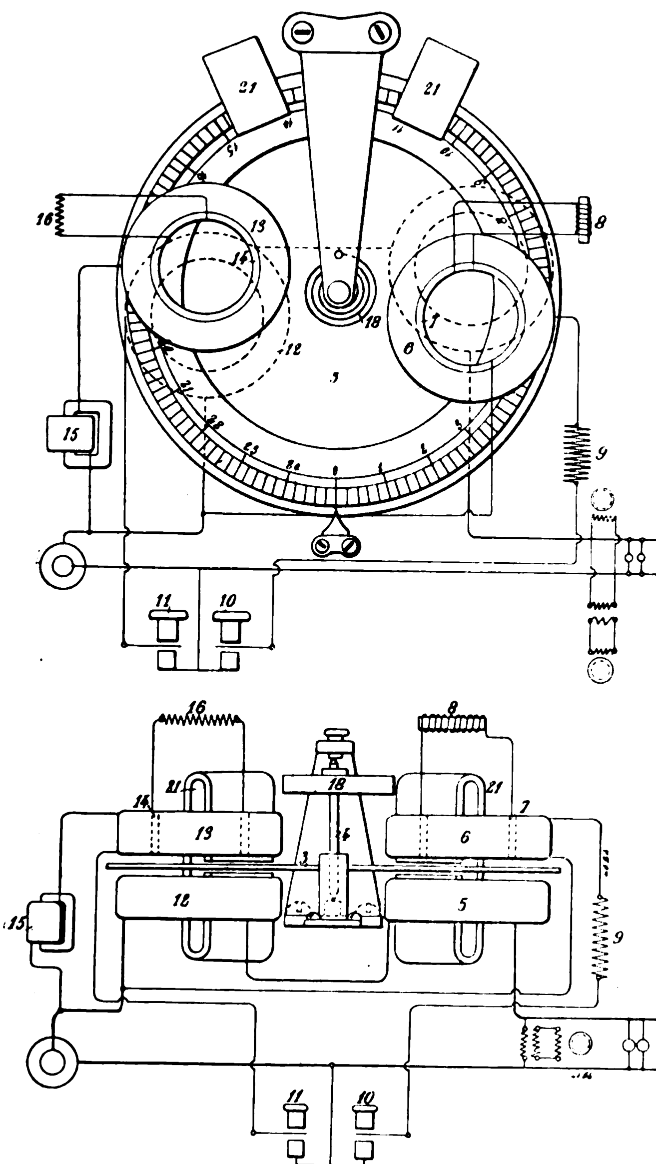


Fig. 1 et 2. — Plan et élévation du wattmètre Duncan.

Dans le second cas, le commutateur 11 étant fermé, les bobines des volts 13 et 14 sont placées en dérivation sur le circuit, mais, ici, la bobine 13 est en série avec une grande self-induction, tandis que la bobine intérieure 14 est munie d'une résistance sans induction, de sorte que la résultante des actions de 13 et 14, est en quadrature avec la différence de potentiel U ; ce système mesure donc UI cos $\varphi$, c'est-à-dire la puissance réelle.

En fermant en même temps les deux commutateurs 10 et 11, les deux effets se produisent ensemble et on obtient un couple qui est la *somme* des deux précédents :

$$UI\,(\sin\varphi + \cos\varphi),$$

et non pas la *résultante* prise dans le sens de deux forces concourantes :

$$UI\sqrt{\sin^2\varphi + \cos^2\varphi} = UI, \qquad (1)$$

comme l'indique le brevet. En réalité, cet appareil ne peut indiquer la puissance apparente UI, qu'en introduisant les valeurs de UI sin $\varphi$ et UI cos $\varphi$ dans l'équation (1) et en *calculant* le résultat.

Comme on le voit sur les figures 1 et 2, le disque 3 est monté sur un axe vertical 4 et retenu par un ressort spiral 18 ; l'amortissement est produit par l'action des aimants 21 sur le disque. La division est tracée sur la périphérie du disque.

Jusqu'ici, on s'est toujours attaché à réduire au minimum la self-induction du circuit-volts des compteurs d'énergie pour courants alternatifs, afin que le courant dérivé, qui traverse ce circuit, soit aussi exactement que possible en phase avec la différence de potentiel ; cette condition est essentielle pour que le wattmètre du compteur mesure la puissance réelle.

$$P = UI\cos\varphi.$$

Dès que le circuit sur lequel est branché le compteur renferme des appareils créant une grande différence de phase, des moteurs d'induction, par exemple, cos $\varphi$ baisse rapidement et, pour une même intensité, la puissance absorbée diminue également, mais l'usine est obligée d'immobiliser un matériel générateur proportionné à cette intensité et presque indépendant de la puissance réelle ; de plus, les pertes, dans la canalisation et dans les appareils accessoires, dépendent aussi de l'intensité, de sorte que le prix de revient de l'énergie fournie au consommateur varie avec le facteur de puissance, cos $\varphi$, de son installation, il est donc assez juste de faire varier le tarif de l'énergie avec ce facteur.

C'est pour obtenir ce résultat que Ch. P. Steinmetz [1] introduit dans le circuit volts du compteur d'énergie, — compteur moteur genre Thomson ou compteur d'induction, — une self-induction réglable, de telle sorte que le compteur étant réglé pour être exact, quand cos $\varphi = 1$, ses indications relatives augmentent avec $\varphi$.

Si on introduit, dans le circuit volts d'un compteur Thomson une bobine de self-induction $R_1$ et une résistance R (fig. 3), toutes deux réglables, de telle sorte que le courant dérivé soit retardé, de 20°, par exemple, on peut régler les freins et les rouages pour que les indications du compteur soient exactes quand U et I sont en phase. Dans ces conditions, si le compteur est placé sur un circuit où la différence de phase est $\varphi$, le retard du courant I sur le courant dérivé ne sera que $\varphi - 20°$, et on mesurera

$$UI \cos(\varphi - 20°),$$

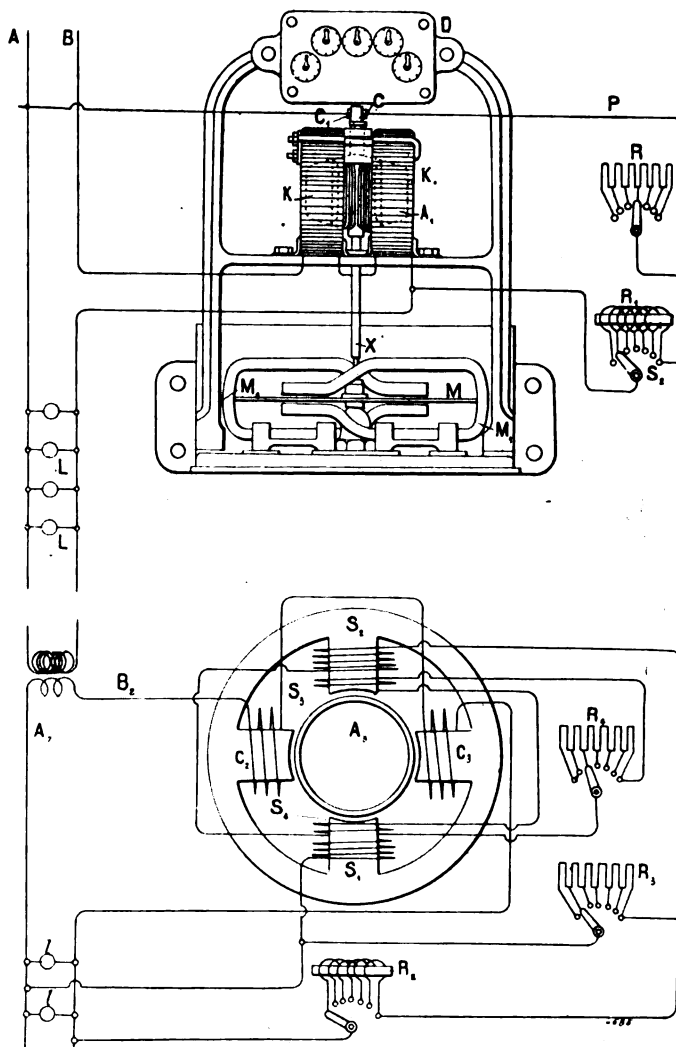



Fig. 3 et 4. — Dispositif de Steinmetz pour tenir compte du courant déwatté.

mais, comme le réglage est fait pour UI cos 20°, le compteur *avancera* dans le rapport :

$$\frac{\cos(\varphi - 20)}{\cos 20}.$$

Par exemple, si $\varphi = 60°$, le compteur mesurera 1,23 fois la puissance réelle, tenant

[1] Brevet anglais, n° 25 746, déposé par The British Thomson Houston C° le 30 décembre 1899, accepté le 20 octobre 1900. 2 figures.

***

compte ainsi du courant déwatté produit par l'usine. Cette majoration du prix de l'énergie

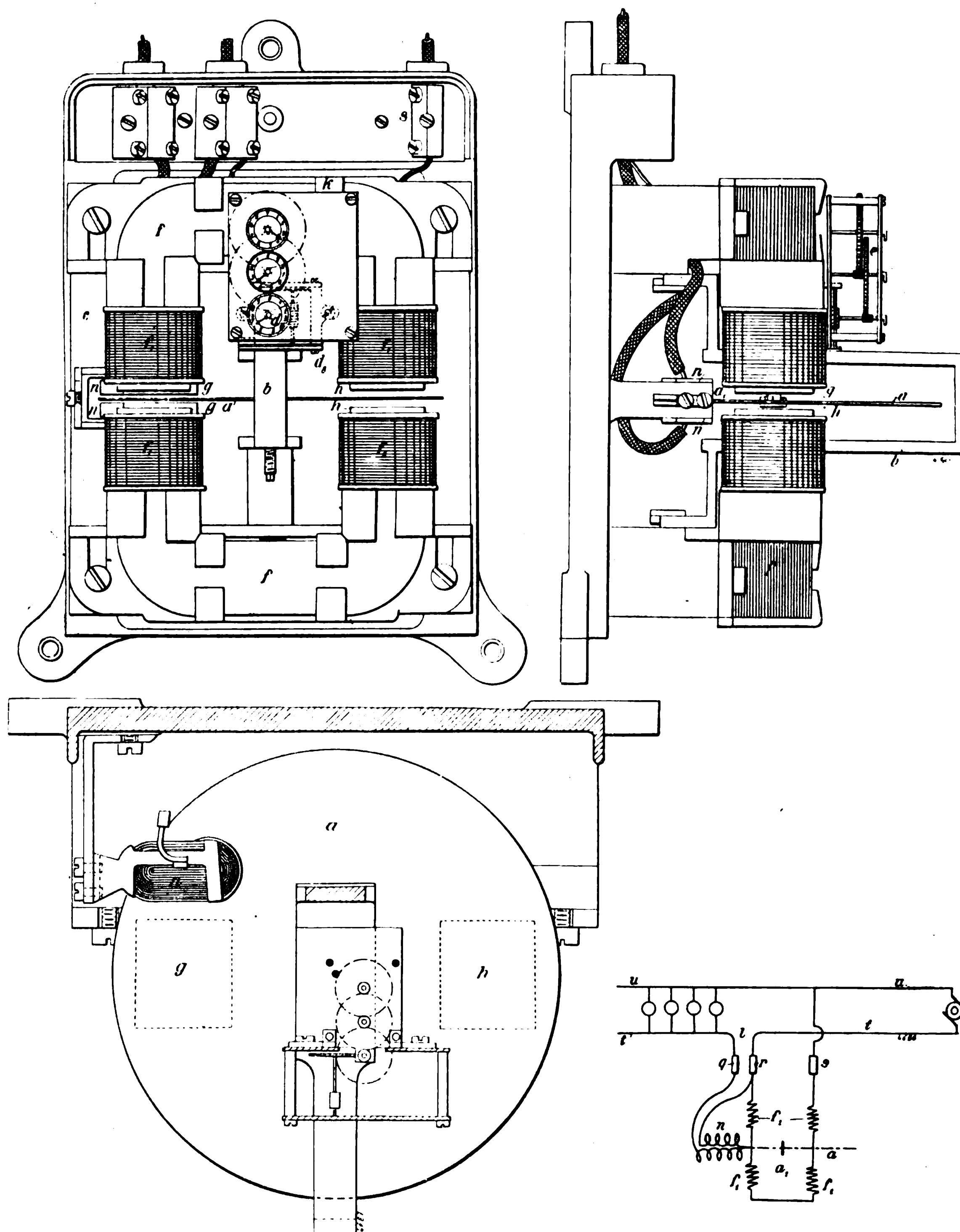


Fig. 5 à 8. — Vue de face, vue de côté, plan et schéma du compteur Johnson.

oblige le client à couper le circuit dès que ses appareils ne sont pas utilisés convenablement.

A l'aide de R et de $R_1$, on peut faire varier à volonté le décalage du courant dérivé, de façon à proportionner la variation du tarif à la dépense causée à l'usine par le courant déwatté.

Dans les compteurs d'induction, on sait que le courant dérivé doit retarder de 90° sur la différence de potentiel pour que les indications soient indépendantes du facteur de puissance. Pour réaliser les conditions du système ci-dessus, il faut que la puissance enregistrée augmente relativement avec $\varphi$, donc il faut que le retard du courant dérivé sur U soit *plus grand* que 90°. On ne peut pas obtenir ce résultat à l'aide de bobines de self-induction seulement. Le moyen proposé dans le brevet consiste à placer un shunt sans induction, $R_3$ (fig. 4), entre les électros $S_1S_2$ du circuit-volts et la bobine de self-induction $R_2$; le courant qui traverse les électros étant en retard sur celui du shunt, se trouve par là retardé sur le courant qui traverse la bobine $R_2$. On ajoute à cette action celle qui est produite par les bobines induites $S_3S_4$, qui sont fermées sur elles-mêmes par la résistance réglable $R_4$.

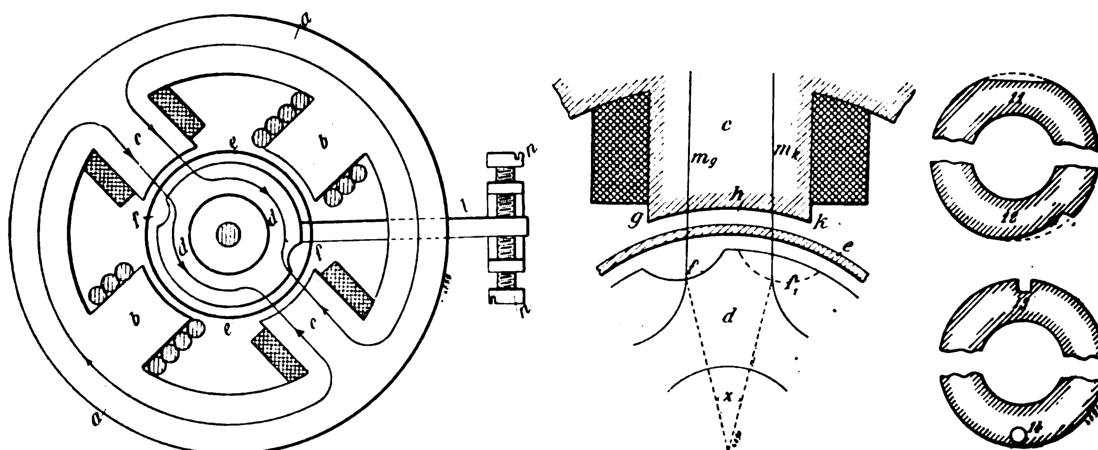


Fig. 9 à 14. — Dispositif de réglage des compteurs Ferraris de Siemens et Halske.

Le brevet de W. H. Johnson [1] revendique l'emploi d'un électro, excité par le courant dérivé, à la place de l'aimant permanent qui est généralement employé comme frein dans les compteurs d'induction. Deux noyaux de tôle en forme d'U, *ff* (fig. 5 à 8), ont leurs pôles *gg* et *hh* en regard l'un de l'autre, et le disque armature *a* passe dans l'entrefer laissé entre eux. Quatre bobines $f_1$ sont placées sur les pôles et montées en série entre elles et en dérivation sur le circuit étudié; elles reçoivent ainsi un courant retardé de 90° sur la différence de potentiel à mesurer. Les bobines d'intensité *nn* sont en série avec le circuit total et placées très près des pôles *gg*, de sorte que les courants induits par ces bobines, réagissent sur ceux qui sont produits par *gg* et produisent un couple moteur. Les pôles *hh*, situés à l'extrémité opposée du diamètre, ne produisent aucun couple; ils agissent seulement comme frein et règlent la rotation du disque lorsque la différence de potentiel est constante.

Dans les compteurs d'induction, les petits défauts de construction et les frottements amènent des erreurs plus ou moins considérables; pour remédier à ces défauts, Siemens et Halske [2] apportent les modifications suivantes à leurs compteurs Ferraris, bien connus.

(1) Brevet anglais, n° 25 200, déposé le 19 décembre 1899, accepté le 10 novembre 1900. 5 figures.

(2) Brevet anglais, n° 8 239, déposé par Siemens brothers le 3 mai 1900, accepté le 9 juin 1900. 7 figures.

Dans ces compteurs (fig. 9), un tambour métallique *e* tourne librement dans l'entrefer ménagé entre les projections polaires *bbcc* et un noyau central *d*. Les bobines *bb* reçoivent le courant principal, et les bobines *cc*, le courant dérivé. Lorsque les bobines *cc* agissent seules, les courants induits dans le disque doivent être symétriques aux pôles, et le couple nul, mais la plus légère dissymétrie produit un couple, et le moteur *tourne à vide*. D'autre part, les frottements exigent que le couple moteur dépasse une certaine valeur, pour que le compteur se mette en mouvement. Ces deux phénomènes contradictoires sont bien connus, ils sont communs à tous les compteurs d'induction.

Si on creuse dans le noyau central une ou deux rainures *ff* (fig. 9 et 10), et si l'encoche est en face de la moitié *gh* du pôle, on voit que le flux total doit se diviser en deux parties

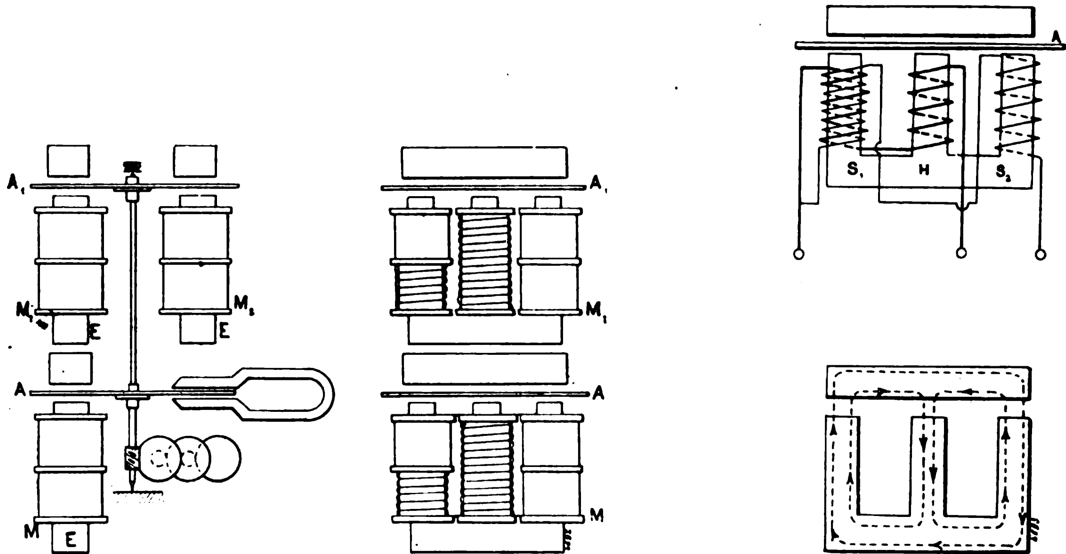



Fig. 15 à 18. — Compteur triphasé de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft.

inégales, l'une *hk*, rencontrant une faible réluctance, créera un champ relativement intense, l'autre, *gh*, ayant à traverser un plus grand entrefer, créera un champ plus faible. La force électromotrice induite dans le tambour sera plus élevée en *hk* qu'en *gh*, mais il y aura un retard de phase en *hk*, de sorte que le champ tournera dans le sens *gk*. Par suite, selon que l'encoche *f* sera en *g* ou en *k*, le sens de la rotation sera direct ou inverse ; dans la position intermédiaire, il doit donc y avoir un point où le couple moteur est absolument nul. Le noyau de fer *d* étant disposé de façon à tourner autour de son centre, lorsqu'on le déplace au moyen du levier *l*, il est facile de choisir la position qui donne le couple juste nécessaire pour vaincre les frottements et combattre également le couple parasite dû aux petits défauts de symétrie inévitables.

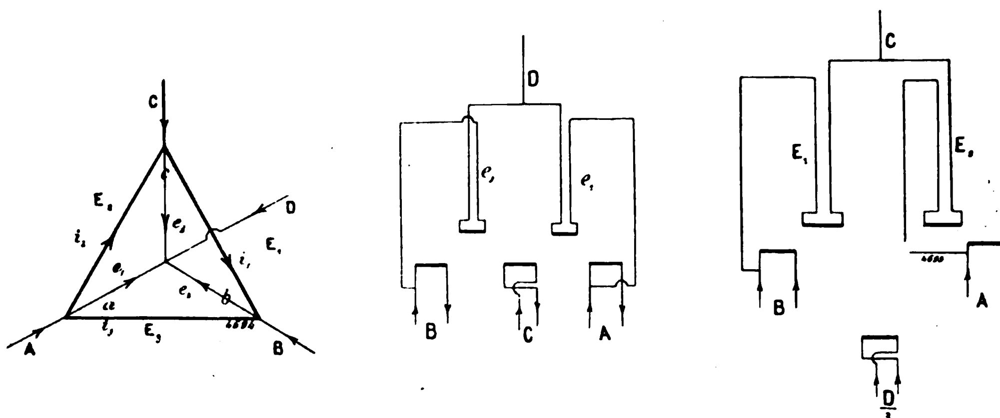
La forme de l'encoche peut être quelconque, comme on le voit dans les figures 11 à 14.

Le compteur pour courants triphasés de l'Allgemeine Elektricitets Gesellschaft [1], est un compteur d'induction composé de trois systèmes semblables à ceux du compteur monophasé, décrit dans un brevet antérieur (n° 683-1900). Le point capital est ici l'emploi de deux disques armatures $AA_1$ (fig. 15 et 16), sur lesquels agissent les électros M, $M_1$,

[1] Brevet anglais, n° 3 056, déposé par Feeny le 15 février 1900, accepté le 19 mai 1900. 5 figures.

$M_2$. Ce dédoublement de l'armature permet d'éviter l'action d'un électro sur l'autre, et rend les indications plus exactes.

Comme dans le modèle monophasé, chaque électro a trois branches : celle du centre,




H (fig. 17), recevant le courant total, tandis que les deux autres, $S_1 S_2$, reçoivent le courant dérivé. Le flux de la bobine H s'ajoute à celui de la bobine $S_1$ et diminue celui de la branche $S_2$ ; il en résulte que $S_1$ doit être saturé plus vite que $S_2$, aussi, dans le but d'éviter la perturbation qui résulterait de cette différence, la bobine $S_1$ reçoit un enroulement parcouru par le courant total, mais en sens inverse de l'enroulement dérivé.

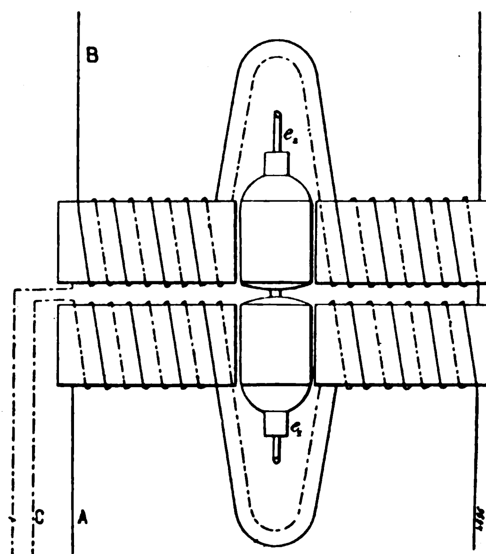



Fig. 19 à 22. — Schémas des compteurs Aron à 4 fils, pour courants triphasés.

Les différents schémas de connexions et les formules déjà établies pour les réseaux à courants triphasés ne s'appliquent pas, dans le cas où il existe un quatrième fil servant de retour, lorsque les trois phases ne sont pas chargées également. Le brevet de H. Aron et Aron Electricity Meter [1] a pour objet de combler cette lacune en donnant une solution générale applicable au montage en étoile comme au montage en triangle.

Dans le schéma de la figure 19, la puissance absorbée dans le réseau a évidemment pour expression.

$$P = i_1 E_1 + i_2 E_2 + i_3 E_3 + a e_1 + b e_2 + c e_3,$$

en appelant A, B, C, $a$, $b$, $c$, $i_1$, $i_2$, $i_3$, les intensités dans les différentes branches, $E_1$, $E_2$, $E_3$. $e_1$ $e_2$, $e_3$, les différences de potentiel aux bornes des mêmes branches.

Comme on a

$$E_1 = e_3 - e_2, \ E_2 = e_1 - e_3 \text{ et } E_3 = e_2 - e_1,$$

il vient

$$P = i_1 (e_3 - e_2) + i_2 (e_1 - e_3) + i_3 (e_2 - e_1) + a e_1 + b e_2 + c e_3,$$

(1) Brevet anglais, n° 21 355, déposé le 25 octobre 1899, accepté le 31 mars 1900. 5 figures.

ou

$$P = (a + i_2 - i_3)\,e_1 + (b + i_3 - i_1)\,e_2 + (c + i_1 - i_2)\,e_3\,;$$

mais, d'autre part, la somme des courants devant être nulle à chaque point de croisement

$$A = a + i_2 - i_3,\ B = b + i_3 - i_1,\ C = c + i_1 - i_2,$$

et

$$P = Ae_1 + Be_2 + Ce_3, \qquad (1)$$

que l'on peut transformer en

$$P = Ae_1 + Be_2 - C\,(e_1 + e_2), \qquad (2)$$

en se rappelant que l'on doit avoir

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0.$$

L'équation (2) est réalisée par le montage de la figure 20. Les deux pendules portent les bobines des volts $e_1$ et $e_2$: ils oscillent devant les bobines d'intensité BCA, et on voit que C agit sur les deux pendules $e_1$, $e_2$, en *sens inverse* des bobines A et B.

En pratique, il est quelquefois plus commode de placer la bobine centrale C au-dessous des bobines A et B, ce qui rend son action plus faible. Cette solution peut encore être employée en changeant la formule. La puissance peut s'écrire, en transformant (1) :

$$P = AE_2 - BE_1 + (A + B + C)\,e_3,$$

et, en tenant compte que

$$A + B + C + D = O,$$

on obtient

$$P = AE_2 - BE_1 - DE_3\,;$$

or, $e_3$ peut s'écrire

$$e_3 = \frac{E_1 - E_2}{3},$$

d'où, finalement :

$$P = AE_2 - BE_1 - \frac{D}{3}\left(E_1 - E_2\right).$$

Pour réaliser cette dernière équation, il faut faire passer le courant de retour dans la bobine D, placée à une distance des pendules telle que son action se trouve réduite au tiers de ce qu'elle serait dans le plan des bobines A et B, figure 21; en outre : les pendules mesurent les différences de potentiel entre les sommets du triangle, au lieu de mesurer entre le fil de retour et les sommets.

Ces dispositions s'appliquent également aux compteurs autres que les compteurs pendulaires. La figure 22 en montre l'application aux compteurs moteurs. Le schéma est un peu moins simple parce qu'il faut mettre deux enroulements sur les bobines inductrices. Les armatures mesurent les différences de potentiel $e_1$ et $e_2$, comme les pendules dans la figure 20, et les bobines inductrices produisent des champs proportionnels à A + C et B + C.

Si dans un réseau de courants triphasés, figure 23, la somme des différences de potentiel $e_a + e_b + e_c$ et la somme des intensités $i_a + i_b + i_c$ sont bien égales à o, on peut écrire la puissance sous la forme :

$$P = e_b\,(i_b + i_c) - e_a\,(i_a + i_c).$$

Un système de deux wattmètres dont les armatures mobiles sont réunies par un arbre

commun, indique directement cette puissance si les constantes des deux wattmètres sont bien égales. Cette disposition est réalisée par SIEMENS et HALSKE [1] à l'aide de deux compteurs Ferraris accouplés sur le même arbre. On voit, dans la figure 24, que les bobines d'intensité de chaque compteur sont excitées par deux courants ; le champ créé est ainsi proportionnel à l'une des deux sommes $i_b + i_c$ ou $i_a + i_c$. Les bobines du circuit dérivé sont en série avec des bobines de self S ; elles sont montées avec des bobines sans induction, $m$, $m$, $n$, $n$, $o$, $p$, avec lesquelles elles forment un dispositif de pont de Wheatstone. Grâce à cette disposition, brevetée antérieurement (n° 13981, 1900), il suffit d'agir sur $m$, $m$ et $n$, $n$, pour égaliser les constantes des deux wattmètres, puis ensuite sur $o$ et $p$ afin de produire les retards de phase de 90°, du courant dérivé sur les différences de potentiel $e_b$, $e_a$ ; ce dernier réglage ne dérange rien au premier.

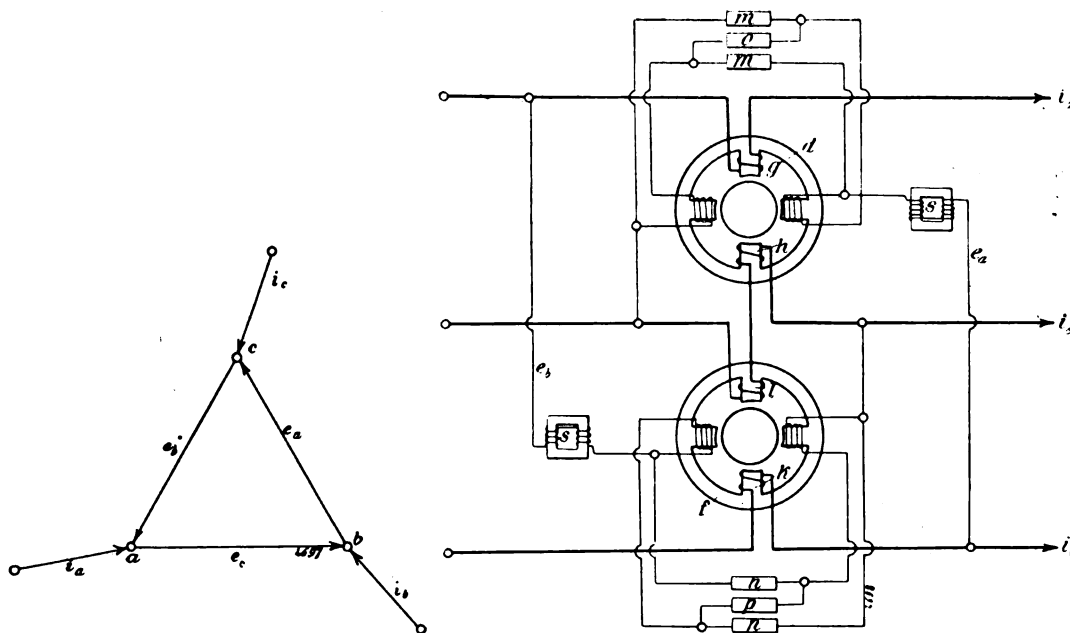


Fig. 23 et 24. — Schémas des compteurs Ferraris pour courants triphasés

H. ARMAGNAT.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

**Oscillations pendulaires dans les machines couplées en parallèle**, par **A. Föppl**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 59, 23 janvier 1902.

Contrairement à l'opinion émise par M. Kapp [2], l'auteur estime, d'après son expérience personnelle, que les oscillations pendulaires les plus fréquentes dans les alternateurs marchant en parallèle, sont de trop longue durée pour pouvoir être considérées comme des phénomènes de ré-

(1) Brevet anglais, 11 819, déposé par Siemens brothers le 29 juin 1900, accepté le 25 août 1900. 2 figures.

(2) Voir l'article de M. Kapp, *Elektrotechnische Zeitschrift* 1899, p. 134, et l'analyse de cet article par M. J. GUILLAUME, *Éclairage Électrique*, t. XX, p. 281, 26 août 1899, et l'étude de M. BOUCHEROT, *Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 121, 28 octobre 1899.

sonance relatifs aux variations de la vitesse angulaire pendant un tour, et doivent au contraire être imputées à l'action des régulateurs de vitesse.

L'auteur étudie le fonctionnement de ces appareils, et établit les conditions dans lesquelles le déplacement du régulateur est accompagné ou non d'oscillations, pour les trois cas suivants : une seule machine, plusieurs machines accouplées rigidement, plusieurs machines reliées par un accouplement élastique.

1° *Une machine fonctionnant seule.* — Désignons par $x$ (fig. 1), le déplacement du manchon du régulateur, à partir du point pour lequel l'angle $\varphi$ serait nul ; on a alors

$$x = 2l\left(1 - \cos\varphi\right)$$

$$\frac{dx}{dt} = 2l \sin\varphi \, \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 2l\left[\sin\varphi \, \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \cos\varphi\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right]$$

Quand l'angle $\varphi$ croît, pour l'étude du mouvement relatif du régulateur, il faut ajouter au poids P du manchon d'abord une force d'inertie dont la grandeur est $\frac{P}{g}\,\frac{d^2x}{dt^2}$, et de plus un second terme dû au frottement. Ce dernier terme

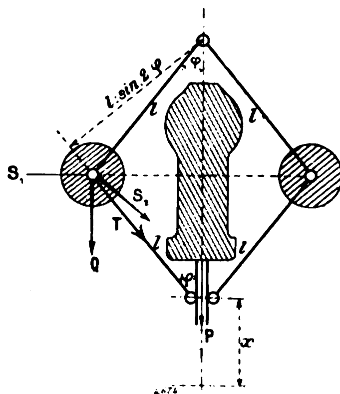



Fig. 1.

peut se décomposer en deux parties, l'une proportionnelle à la vitesse, due au frottement proprement dit, et qui est très importante dans les régulateurs munis d'un frein à huile, et l'autre constante, due à l'inertie au départ. L'inertie au départ entre en ligne de compte au point de vue de la stabilité du régulateur dans ses diverses positions ; en effet, si cette inertie est très grande, à partir d'un point d'équilibre relatif du régulateur, la vitesse pourra varier dans de fortes proportions avant que le régulateur se déplace ; mais elle est sans action sur la position finale du régulateur, car elle cesse d'agir dès qu'il y a déplacement des boules. Aussi peut-on la négliger dans une première étude, quand il s'agit de déterminer si un déplacement du régulateur restera compris dans des limites étroites ou atteindra une valeur considérable et inadmissible.

L'auteur démontre alors que la condition, pour que la marche soit stable, c'est-à-dire que les oscillations autour d'une position $\varphi_0$ du régulateur restent très petites, est que l'on ait :

$$a_2 a_3 > \frac{a_1 a_4}{K},$$

inégalité dans laquelle les lettres $a$ ont pour valeurs respectives :

$$a_1 = \frac{Q}{g} l^2 + \frac{P}{g} \cdot 2l^2 \sin^2\varphi_0 \qquad a_2 = 2\gamma l^2 \sin^2\varphi_0$$

$$a_3 = \frac{Q}{g} u_0^2 l^2 \sin^2\varphi_0 \qquad a_4 = \frac{Q}{g} u_0^2 l^2 \sin^2\varphi_0,$$

Q étant le poids des boules, $u_0$ la vitesse angulaire commune au régulateur et à la machine, $\gamma$ le coefficient d'amortissement, K une constante positive donnée de la machine, définie par l'égalité

$$K = -\frac{\Theta}{\left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0};$$

où $\Theta$ est le moment d'inertie, F ($\varphi$) la fonction qui représente le moment moteur par rapport à la position du régulateur [1].

---

[1] Voici la démonstration de l'auteur :

Désignons par $\gamma$ le coefficient d'amortissement, $\gamma \frac{dx}{dt}$ sera la première partie du frottement, et si nous négligeons la seconde partie constante, dans l'équation d'équilibre relatif du régulateur, nous aurons à considérer un poids fictif du manchon du régulateur P', tel que

$$P' = P + \frac{P}{g}\,\frac{dx^2}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt}$$

$$= P + 2\gamma l \sin\varphi \frac{d\varphi}{dt^2} + \frac{P}{g} \cdot 2l\cos\varphi \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$$

$$+ \frac{P}{g} \cdot 2l \sin\varphi \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Soit T la tension s'exerçant sur les tiges inférieures du

La constante $a_2$ qui figure dans cette inégalité est proportionnelle au coefficient d'amortissement $\gamma$ ; on voit par suite que pour un régulateur à amortissement nul, $\gamma = 0$, le fonctionnement serait forcément instable.

---

régulateur, on a

$$T = \frac{P'}{2 \cos \varphi}$$

Sur une boule du régulateur, agissent : son poids Q, la tension T, la tension des tiges supérieures, qui n'importe pas ici, et deux forces d'inertie, savoir :

D'abord la force centrifuge $S_{1x}$, telle que

$$S_1 = \frac{Q}{g} u^2 l \sin \varphi,$$

$u$ étant la vitesse angulaire instantanée du régulateur, supposée égale à celle de la machine ; et une autre force qui correspond à l'accélération relative des boules, dont la composante $S_2$ perpendiculaire à la tige supérieure, est

$$S_2 = \frac{Q}{g} l \frac{d^2\Phi}{dt^2} .$$

Quant à la force d'inertie de Coriolis, elle est ici perpendiculaire au plan des boules et n'a pas d'action sur la déviation du régulateur : elle se contente de produire une légère flexion des tiges sans importance dans ce cas.

L'équation d'équilibre d'une boule devient, en prenant les moments par rapport au centre de suspension des tiges supérieures :

$$S_2 l + Tl \sin 2\varphi + Ql \sin \varphi - S_1 l \cos \varphi = 0,$$

soit après développement

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2}\left[\frac{Q}{g} l_2 + 2\frac{P}{g} l^2 \sin^2\varphi\right] + \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \frac{P}{g} l^2 \sin 2\varphi +$$
$$\frac{d\varphi}{dt} \cdot 2\gamma l^2 \sin^2\varphi + (P+Q) l \sin\varphi - \frac{Q}{g} u^2 l^2 \sin\varphi \cos\varphi = 0$$

Si on considère $u$ comme constant pendant un déplacement du régulateur, on a l'équation différentielle en $\varphi$ du fonctionement du régulateur : mais sous cette forme, elle n'est pas intégrable. Pour la simplifier, on se borne à l'étude de déplacements, dont les amplitudes sont suffisamment petites, pour pouvoir être considérées comme infiniment petites : on cherche si une oscillation de petite amplitude au début, tend à croître au delà de toutes limites, ou non. Dans le premier cas, la marche ne peut être évidemment stable.

Posons $\varphi = \varphi_0 + \varepsilon$, $\varphi_0$ étant une valeur constante, et $\varepsilon$ un déplacement variable très petit ; négligeons les infiniment petits d'ordre supérieur au premier, il vient :

$$\frac{d^2\varepsilon}{dt^2}\left(\frac{Q}{g} l^2 + 2\frac{P}{g} l^2 \sin^2\varphi_0\right) + 2\gamma l^2 \sin^2\varphi_0 \frac{d\varepsilon}{dt}$$
$$+\varepsilon . \left[(Q+P) l \cos\varphi_0 - \frac{Q}{g} u^2 l^2 \cos 2\varphi_0\right]$$
$$+ (Q+P) l \sin\varphi_0 - \frac{Q}{g} u^2 l^2 \sin\varphi_0 \cos\varphi_0 = 0$$

Pour tenir compte de ce que $u$ varie, d'ailleurs dans de faibles proportions, nous posons

$$u = u_0 + \eta,$$

$\eta$ étant un infiniment petit de même ordre que $\varepsilon$ ; si l'on fait

$$\frac{Q}{g} l^2 + \frac{P}{g} . 2 l^2 \sin^2\varphi_0 = a_1$$
$$\gamma . 2 l^2 \sin^2\varphi_0 = a_2,$$

l'équation différentielle devient

$$a_1 \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + a_2 \frac{d\varepsilon}{dt} + \left[(P+Q) l \cos\varphi_0 - \frac{Q}{g} u_0^2 l^2 \cos 2\varphi''\right]\varepsilon$$
$$-2\frac{Q}{g} u_0 l^2 \sin\varphi_0 \cos\varphi_0 \eta - \frac{Q}{g} u_0^2 l^2 \sin\varphi_0 \cos\varphi_0 +$$
$$(Q+P) l \sin\varphi_0 = 0$$

Cette équation doit être vérifiée pour la marche à l'état stationnaire, $\varepsilon = 0$, $\eta = 0$, ce qui nécessite

$$(P+Q) l \sin\varphi_0 = \frac{Q}{g} u_0^2 l^2 \sin\varphi_0 \cos\varphi_0$$

équation d'où l'on déduit dans la théorie ordinaire des régulateurs, la position $\varphi_0$ correspondant à une vitesse $u_0$.

En tenant compte de cette relation, on arrive finalement, en posant

$$a_3 = \frac{Q}{g} u_0^2 l^2 \sin\varphi_0$$
$$a_4 = \frac{Q}{g} u_0^2 l^2 \sin 2\varphi_0$$

à l'équation différentielle linéaire,

$$a_1 \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + a_2 \frac{d\varepsilon}{dt} + a_3 \varepsilon - a_5 \eta = 0.$$

dans laquelle les coefficients $a$ sont toujours positifs ; et peuvent être divisés par le facteur commun $l^2$.

Tout ce qui a été fait jusqu'ici est valable, que la machine soit seule, ou qu'elle fonctionne en parallèle avec d'autres.

Etudions d'abord le cas d'une machine seule. Alors nous aurons entre $\varepsilon$ et $\eta$, une seconde relation, en écrivant qu'à chaque position du régulateur correspond une certaine distribution de vapeur, et par suite un moment moteur M agissant sur le volant ; comme nous avons pour but d'étudier les oscillations lentes, portant sur plusieurs tours, nous pouvons négliger les variations du moment moteur pendant un tour, et adopter pour M la valeur moyenne pendant ce tour. Dans ces conditions, M est une fonction de $\varphi$, et nous pouvons écrire

$$M = F(\varphi) = F(\varphi_0 + \varepsilon) = M_0 + \varepsilon\left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0$$

****

2° *Deux ou plusieurs machines accouplées rigidement.* — Dans le cas où $n$ machines semblables sont accouplées rigidement sur un même volant de moment d'inertie $\Theta$, la condition pour que le fonctionnement du régulateur soit stable, devient

$$a_2 a_3 > a_1 a_4 \frac{n}{K};$$

elle est la même que pour une machine fonctionnant seule avec un volant de moment d'inertie $n$ fois plus petit [1].

---

$M_0$ est le couple moteur servant à vaincre l'effort résistant opposé à la machine ; le surcroît $M-M_0$, est employé à accélérer la vitesse du volant ; si $\Theta$ désigne le moment d'inertie du volant, on a :

$$\Theta \frac{d\eta}{dt} = \varepsilon \left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0,$$

expression dans laquelle $\frac{dF}{d\varphi}$ est toujours négatif, puisque la puissance de la machine diminue quand les boules s'élèvent ; la valeur $\left(\frac{dF}{d\varphi}\right)$ est une constante, et nous poserons

$$K = -\frac{\Theta}{\left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0}.$$

Si on porte dans l'équation différentielle, la valeur de $\varepsilon = -K\frac{d\eta}{dt}$, on obtient finalement l'équation à une seule inconnue

$$a_1 \frac{d^3\eta}{dt^3} + a_2 \frac{d^2\eta}{dt^2} + a_3 \frac{d\eta}{dt} + \frac{a_4}{K}\eta = 0;$$

en éliminant $\eta$ au lieu de $\varepsilon$, on trouverait la même équation pour $\varepsilon$.

La solution générale de cette équation est

$$\eta = A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{\alpha_2 t} + A_3 e^{\alpha_3 t},$$

où $A_1$, $A_2$ et $A_3$ sont des constantes et $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\alpha_3$ les racines de l'équation

$$a_1 \alpha^3 + a_2 \alpha^2 + a_3 \alpha + \frac{a_4}{K} = 0.$$

Le fonctionnement du régulateur sera instable, quand, dans l'expression de $\eta$, se trouveront des termes qui augmentent indéfiniment avec le temps ; c'est-à-dire lorsque l'équation en $\alpha$ admettra des racines positives imaginaires dont le terme réel soit positif.

Or cette équation a tous ses coefficients positifs, et ne peut admettre que des racines négatives ou imaginaires; on sait d'ailleurs que la condition pour que l'équation

$$x^3 + px^2 + qx + r = 0$$

n'admette aucune racine ayant son terme réel positif, est

$$pq > r,$$

soit ici

$$a_2 a_3 > \frac{a_1 a_4}{K}.$$

---

[1] Prenons le cas de 2 machines : il y a ici trois variables, $\varepsilon_1$ et $\varepsilon_2$, qui peuvent être différents pour les deux régulateurs, et $\eta$. Posons

$$\varphi_1 = \varphi_0 + \varepsilon_1$$
$$\varphi_2 = \varphi_0 + \varepsilon_2$$

On a de même que dans la note précédente :

$$a_1 \frac{d^2\varepsilon_1}{dt^2} + a_2 \frac{d\varepsilon_1}{dt} + a_3\varepsilon_1 - a_4\eta = 0$$
$$a_1 \frac{d^2\varepsilon_2}{dt^2} + a_2 \frac{d\varepsilon_2}{dt} + a_3\varepsilon_2 - a_4\eta = 0$$
$$\Theta \frac{d\eta}{dt} = \varepsilon_1 \left(\frac{dF}{d\varphi}\right) + \varepsilon_2 \left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0$$

ou

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = -K\frac{d\eta}{dt}.$$

Si on pose pour simplifier $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \varepsilon$, on arrive après élimination de $\varepsilon$, à l'équation différentielle :

$$a_1 \frac{d^3\eta}{dt^3} + a_2 \frac{d^2\eta}{dt^2} + a_3 \frac{d\eta}{dt} + 2\frac{a_4}{K}\eta = 0,$$

ne différant de celle qui correspond à une seule machine que par l'introduction du facteur 2 ($n$ pour le cas de $n$ machines) dans le terme en $\eta$.

D'où la condition énoncée plus haut.

Reste cependant à s'assurer que $\varepsilon_1$ et $\varepsilon_2$ ne peuvent pas croître indéfiniment en sens inverse, la somme restant finie et vérifient toujours la condition énoncée.

Par soustraction, on obtient

$$a_1 \frac{d^2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{dt^2} + a_2 \frac{d(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{dt} + a_3(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = 0,$$

équation différentielle dont la solution générale est

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = A_1 e_1^{\alpha_1 t} + A_2 e_2^{\alpha_2 t},$$

$\alpha_1$ et $\alpha_2$ étant les racines de l'équation

$$a_1\alpha^2 + a_2\alpha + a_3 = 0;$$

or $a_1$, $a_2$ et $a_3$ étant positifs, cette équation n'admet pas de racines ayant des termes réels positifs, et la valeur de $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$ reste forcément finie.

La somme et la différence de $\varepsilon_1$ et $\varepsilon_2$, étant finies, si la condition

$$a_2 a_3 > a_1 a_4 \frac{2}{K},$$

est vérifiée, cette condition correspond bien à la marche stable de 2 machines accouplées rigidement.

3° *Machines reliées par un accouplement élastique.* — Considérons deux machines identiques, portant chacune un volant de moment d'inertie $\Theta$, accouplées élastiquement à un arbre portant un volant de moment d'inertie $\Theta'$. Lorsqu'à un moment quelconque l'arbre d'une des machines s'écarte de l'arbre intermédiaire d'un angle $\psi_1 - \psi'$, $\psi_1$ et $\psi'$ étant les angles faits par la machine et l'arbre intermédiaire avec une position initiale quelconque, il résulte de l'accouplement élastique qu'un couple antagoniste prend naissance et tend à s'opposer à l'avance de la machine ou à son retard; nous supposerons que ce couple est proportionnel à l'angle d'avance ou de retard et a pour valeur

$$-C(\psi_1 - \psi'),$$

C étant une constante positive.

$$a_2 a_3 > \frac{a_1 a_4}{K}; \quad (1)$$

L'auteur démontre alors [1] que, pour que la marche soit stable, les inégalités suivantes doivent être vérifiées : pour chacune des machines séparément,

$$a_2 a_3 \Theta > a_1 a_2 C + a_1 a_4 \frac{\Theta}{K}. \quad (2)$$

pour l'ensemble des deux machines,

[1] Soient $\psi_1, \psi_2, \psi'$ les angles des arbres à un moment donné quelconque, avec une position initiale, $u_0$ la vitesse angulaire normale des trois arbres, $\eta_1, \eta_2, \eta'$ les écarts de cette vitesse au temps $t$. Alors on a trois équations analogues à

$$u_0 + \eta_1 = \frac{d\psi_1}{dt}$$

et

$$\frac{d\eta_1}{dt} = \frac{d^2\psi_1}{dt^2}.$$

Les accélérations de trois volants sont définies par les équations :

$$\Theta \frac{d\eta_1}{dt} = M_0 + \varepsilon_1 \left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0 - C(\psi_1 - \psi')$$

$$\Theta \frac{d\eta_2}{dt} = M_0 + \varepsilon_2 \left(\frac{dF}{dt}\right)_0 - C(\psi_2 - \psi')$$

$$\Theta' \frac{d\eta'}{dt} - C(\psi_1 + \psi_2 - 2\psi') - 2M_0,$$

dont la somme est

$$\Theta \frac{d\eta_1}{dt} + \Theta \frac{d\eta_2}{dt} + \Theta' \frac{d\eta'}{dt} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0$$

En retranchant membre à membre les deux premières équations d'accélération, et remplaçant les $\eta$ par les valeurs en fonction des $\psi$, on obtient

$$\Theta \frac{d^2{}_1(\psi_1 - \psi_2)}{dt^2} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2).\left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0 - C(\psi_1 - \psi_2). \quad (1)$$

Si l'on considère, de plus, les équations des régulateurs des deux machines, et qu'on les retranche membre à membre, en remplaçant $\eta$ par sa valeur $\left(\frac{d\psi}{dt} - u_0\right)$, il vient

$$a_1 \frac{d^2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{dt^2} + a_2 \frac{d.(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{dt} + a_3(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) - a_4 \frac{d(\psi_1 - \psi_2)}{dt} = 0 \quad (2)$$

Eliminons $\psi_1 - \psi_2$ entre (1) et (2), et posons pour simplifier

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = v, \text{ et } \left(\frac{dF}{d\varphi}\right)_0 = -\frac{\Theta}{K},$$

nous obtenons l'équation différentielle des oscillations pendulaires :

$$\Theta a_1 \frac{d^4 v}{dt^4} + \Theta a_2 \frac{d^3 v}{dt^3} + (Ca_1 + \Theta a_3)\frac{d^2 v}{dt^2} + \left(Ca_2 + \frac{a_4 \Theta}{K}\right)\frac{dv}{dt} + Ca_3 v = 0, \quad (3)$$

dont la solution générale est

$$v = A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{\alpha_2 t} + A_3 e^{\alpha_3 t} + A_4 e^{\alpha_4 t},$$

les $\alpha$ étant les racines de l'équation

$$\alpha^4 + \frac{a_2}{a_1}\alpha^3 + \left(\frac{C}{\Theta} + \frac{a_3}{a_1}\right)\alpha^2 + \left(\frac{Ca_2}{\Theta a_1} + \frac{a_4}{Ka_1}\right)\alpha + \frac{Ca^3}{\Theta a_1} = 0, \quad (4)$$

Or, pour que les valeurs de $v$ restent finies, il faut que l'équation (4) n'admette pas de racines ayant un terme réel positif : pour l'équation

$$x^4 + px^3 + qx^2 + rx + s = 0,$$

cette condition est

$$pqr - r^2 - p^2 s > 0,$$

soit ici

$$\frac{a_2}{a_1}\left[\frac{C}{\Theta} + \frac{a_3}{a_1}\right]\left[\frac{Ca_2}{\Theta a_1} + \frac{a_4}{Ka_1}\right] > \left(\frac{Ca_2}{\Theta a_1} + \frac{a_4}{Ka_1}\right)^2 + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \frac{Ca_3}{\Theta a_1},$$

ou après simplification en multipliant les deux membres par $\Theta^2 a_1^2$,

$$a_2 a_3 \Theta > a_1 a_2 C + \frac{a_1 a_4 \Theta}{K}$$

La condition (2) est plus stricte que la condition (1). Si C est très grand, on constate au premier abord que la condition (2) n'est pas remplie ; mais dans une étude plus approfondie, on démontre qu'alors la durée de l'oscillation devient très petite, et que par suite cette oscillation n'est pas dangereuse. Les oscillations sont le plus à redouter pour des valeurs moyennes de C [1]. Pour $C = 0$, on retrouve la condition (1), les machines fonctionnant chacune indépendamment.

*Rôle du terme constant du frottement.* — Le calcul des effets de ce terme constant est très pénible, étant donné qu'il change de signe à chaque changement de sens de l'accroissement de l'angle $\varphi$.

L'auteur indique que ce terme étouffe en partie les oscillations qui tendent à naître, et rend possible dans certains cas la marche stable, alors que les inégalités citées plus haut ne sont pas vérifiées : son action est d'autant plus faible que les oscillations sont de plus longue durée.

En terminant, l'auteur exprime le vœu que des études expérimentales soient faites sur les installations existantes, pour vérifier si les conditions qu'il a établies par le calcul correspondent bien aux exigences de la pratique, ou s'il faut encore y faire intervenir d'autres actions qu'il ait négligées. A. M.

***Nouvelle méthode pour la détermination de la différence de phase dans les alternateurs à inducteur tournant***, par **Ottomar Queisser**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 102, 6 février 1902.

Cette méthode est une application de l'expérience bien connue qui consiste à éclairer un alternateur avec une lampe à arc à courants alternatifs : si le courant de la lampe à arc est emprunté à l'alternateur lui-même, l'inducteur de l'alternateur semble immobile dans l'espace ; si le courant est emprunté à un autre alternateur, marchant à une fréquence un peu différente, l'inducteur semble tourner dans un sens ou dans l'autre avec une vitesse égale à la différence des fréquences.

Prenons le cas d'un alternateur éclairé par

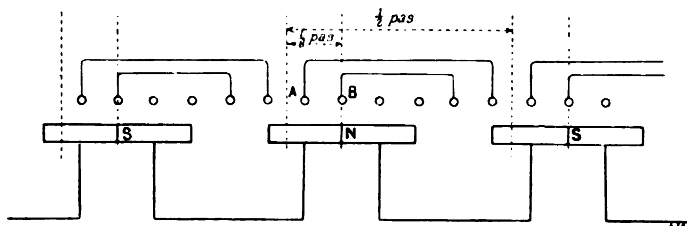



Fig. 1.

une lampe à arc branchée en dérivation à ses bornes ; l'inducteur paraîtra immobile et si on trace sur l'axe des pièces polaires un trait visible facilement, on pourra repérer la position de l'axe des pôles par rapport à l'enroulement induit. Si l'on prend comme point de départ, le point de l'induit en face duquel se trouve l'axe polaire quand le flux est nul et la force électromotrice maximum, le point A dans le cas d'un enroulement monophasé tel que celui de la figure 1, on constate que la distance $x$ du trait au point origine est égale à la fraction du pas (distance des axes des deux pôles consécutifs de même nom) correspondante au décalage du courant dans le circuit de l'arc sur la force électromotrice de l'alternateur. Si, par exemple, le $\cos \varphi$ est 0,707, le décalage est $\frac{\pi}{4}$, soit $\frac{1}{8}$ de période, la distance AB (fig. 1) sera le 1/8 du pas.

Ceci posé, si l'on éclaire un alternateur avec un arc intercalé en série dans le courant principal, et que l'on munisse l'induit d'une échelle graduée en fractions du pas, on n'aura qu'à lire la distance AB, pour avoir le décalage entre le courant et la force électromotrice engendrée dans l'alternateur.

Dans le cas d'alternateurs à haute tension, débitant un courant d'une dizaine d'ampères, on pourra se contenter de placer en série dans le

[1] Etant donné une racine imaginaire $\alpha_1 = -p + iq$ de l'équation (4), note (4), il est facile de calculer la durée de l'oscillation double, qui est

$$T = \frac{2\pi}{q}.$$

circuit principal, une paire de charbons maintenus ordinairement au contact et qu'on écartera de 1 mm, quand on voudra faire une mesure. Les 30 volts que nécessite l'arc, n'occasionneront pas une perturbation sérieuse sur le réseau. Mais dans la plupart des cas, le courant principal ne sera pas de la grandeur convenable; alors, et aussi dans le but d'éviter tout danger dans les manipulations, on intercalera dans le circuit principal l'enroulement primaire d'un transformateur, calculé convenablement, dont on fermera le secondaire sur une lampe à arc : c'est là un emploi du transformateur, analogue à la mesure des courants intenses par un transformateur dont le secondaire est fermé en court-circuit sur un ampèremètre : les courants dans le secondaire et dans le primaire sont entre eux sensiblement en rapport inverse des nombres de spires secondaire et primaire, et de plus de directions à peu près exactement opposées.

A. M.

***Redresseur magnétique Batten pour courants alternatifs,*** *Electrical Review*, t. L, p. 317, 3 janv. 1902.

Le principe en est le suivant : Le courant du réseau traverse un transformateur qui en abaisse ou en élève la tension, suivant l'usage auquel on destine l'appareil : une armature polarisée, mise en action par un électro excité par une dérivation du courant primaire, inverse les connections du circuit d'utilisation, chaque fois que le courant secondaire change de sens.

La figure 1 donne le schéma des connexions d'un de ces redresseurs. Le courant primaire est amené aux bornes 1 et 2; la plus grande partie passe par l'enroulement $19_a$ du transformateur 19; une faible partie est dérivée par le circuit 4,5,10,9,11,6, sur lequel se trouve en 4 une résistance élevée constituée par des lampes à incandescence. L'armature 12, polarisée par les aimants permanents 14 et 15, met la tête 16 en contact tantôt avec le plot 17, tantôt avec le plot 18. Le courant engendré dans l'enroulement secondaire $19_b$ du transformateur, peut avoir suivi le circuit 22, 23, 28, 27, 25, 24, et, lorsque son sens a été inversé, le chemin 24, 26, 29, 30, 18, 23, 22. On voit qu'ainsi les deux parties 25 et 26 de la batterie d'accumulateurs se trouvent chargées dans le même sens.

L'emploi d'un transformateur présente un double avantage. D'abord, on peut obtenir la tension la plus convenable pour l'usage; par exemple, s'il s'agit de charger une petite batterie d'accumulateurs pour l'allumage d'un moteur à gaz, et ne demandant qu'une dizaine de volts, il est évidemment plus avantageux de redresser un courant transformé présentant ce voltage, que de redresser le courant à 110 volts fourni

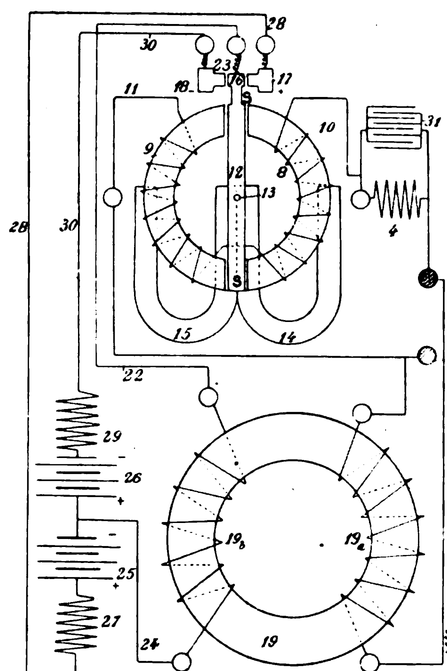



Fig. 1, — Diagramme des connexions d'un redresseur Batten.

par le réseau. D'autre part, à cause de la self induction de l'électro et de l'inertie mécanique de l'armature, celle-ci ne se met en mouvement qu'un peu après que le courant primaire a changé de sens: si donc, on voulait redresser le courant primaire, on aurait des étincelles entre les pièces de rupture ; comme le courant induit par le transformateur est lui-même déphasé en arrière sur le courant primaire, le temps écoulé entre l'instant où le courant induit change de sens et celui où l'armature change les connexions, se trouve réduit, et les étincelles sont moins longues. D'ailleurs, pour réduire ce temps à zéro et supprimer complètement les étincelles, il suffit évidemment de déphaser en avant le courant dérivé excitant l'électro-aimant, et c'est ce qu'on fait au moyen du condensateur 31, placé en dérivation sur la résistance 4.

Divers modèles de puissances différentes de ces redresseurs, sont construits par la General Electric Company de Londres, pour la charge des accumulateurs et l'alimentation de petits moteurs. J. Reyval.

***Accumulateurs Gould.*** Depew, New-York (États-Unis).

Les plaques de ces éléments sont du type à grande surface; elles sont obtenues à la filière en déplaçant des feuilles de plomb pur, laminé sous des disques d'acier, entre lesquels le plomb est refoulé. A chaque extrémité de la plaque, les disques quittent la rainure, de façon à laisser un rebord de section suffisante, comme il est indiqué dans la figure 1, qui se rapporte à

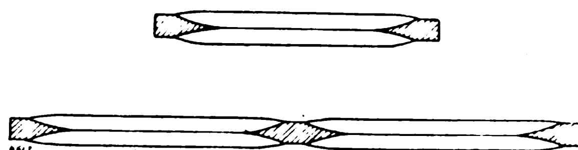


Fig. 1 et 2.

une bandelette unique, ou dans la figure 2 relative à une bandelette double, laissant voir une nervure médiane. L'épaisseur de ces bandelettes peut varier, selon les cas, de 0,3 à 0,5 mm,

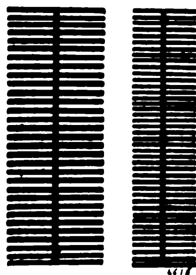


Fig. 3 et 4.

et on obtient une surface totale active 10 à 20 fois plus grande que la surface apparente de la plaque. La figure 3 représente la section d'une plaque à poste fixe, qui donne une surface active de 28,4 dm² par kilogramme de plaque. Dans la figure 4, relative à la plaque pour automobile, la surface active atteint 56,8 dm² par kilogramme de plaque.

La figure 5 montre en élévation une plaque du type M, ayant comme dimensions : hauteur, 152 mm; largeur, 152 mm.

La formation des plaques se fait par un procédé électrochimique, et, d'après les renseignements fournis par la maison, on obtiendrait ainsi des négatives aussi bonnes que les positives, résultat difficile à atteindre avec les plaques à grande surface. Aussi, l'emploi d'une électrode supplémentaire au cadmium indique que c'est la positive qui limite la capacité.

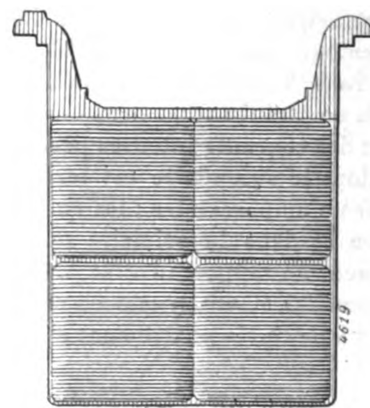


Fig. 5.

L'influence de la température sur la capacité de ces plaques est assez élevée et donne lieu à une augmentation, en ampères-heure, de 1 p. 100 par degré Fahrenheit.

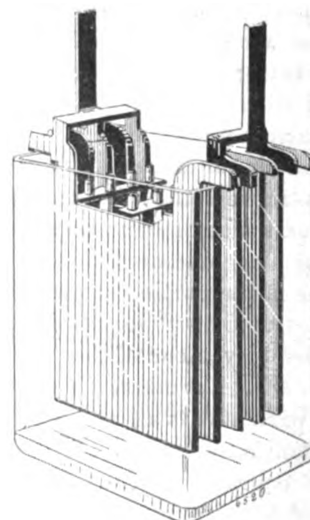


Fig. 6.

*Eléments à poste fixe.* — Les petits éléments à poste fixe sont montés dans des bacs en verre et les plaques sont suspendues par leurs crochets supérieurs, qui reposent directement sur

les bords du bac, comme l'indique la figure 6. Des tubes de verre assurent l'écartement. Les plaques sont réunies entre elles par soudure. Pour les gros éléments, on fait usage de bacs en bois plombé. Nous avons réuni, dans le tableau suivant, les principales données relatives à deux éléments à poste fixe.

| | | PETIT ÉLÉMENT | GROS ÉLÉMENT |
|---|---|---|---|
| Nature du bac | | Verre. | Bois plombé. |
| Nombre de plaques | | 11 | 15 |
| Type de plaques | | N | S |
| Dimensions des plaques en mm | hauteur | 197 | 394 |
| | largeur | 197 | 394 |
| Dimensions extérieures du bac, en mm | longueur | 254 | 413 |
| | largeur | 241 | 524 |
| | hauteur | 286 | 695 |
| Hauteur totale de l'élément, en mm | | 317 | 721 |
| Poids total de plaques, en kg | | 27,67 | 163,3 |
| Poids d'acide, en kg | | 10,20 | 66,2 |
| Poids de l'élément complet, en kg | | | 302,5 |
| Capacités en amp.-heure aux différents régimes | 8 heures | 200 amp.-h. à 25 amp. | 1 120 amp.-h. à 140 amp. |
| | 5 » | 175 amp.-h. à 35 amp. | 980 amp.-h. à 196 amp. |
| | 3 » | 150 amp.-h. à 50 amp. | 840 amp.-h. à 280 amp. |
| Intensité de charge normale, en ampères | | 25 | 140 |

On déduit de ces valeurs, les capacités massiques suivantes :

3,7 ampères-heure par kilogramme de poids total, au régime de 8 heures;

3,24 ampères-heure par kilogramme de poids total. au régime de 5 heures;

2,77 ampères-heure par kilogramme de poids total, au régime de 3 heures.

Soit encore

6,86 ampères-heure par kilogramme de plaques, au régime de 8 heures;

6,00 ampères-heure par kilogramme de plaques, au régime de 5 heures;

5,14 ampères-heure par kilogramme de plaques, au régime de 3 heures.

*Eléments pour éclairage de trains et de bateaux.* — Les éléments sont caractérisés ici par leur fermeture hermétique.

La figure 7 montre la disposition adoptée : le bac en ébonite est entouré d'une caisse en bois plombé; des étriers en fer viennent consolider cette caisse extérieure; terminés, à leur partie supérieure, par des pas de vis, ils permettent le serrage par écrous d'un couvercle en bois, qui porte deux entretoises. Sous le couvercle, se trouve d'ailleurs une feuille de caoutchouc souple qui, par le serrage, vient appuyer fortement sur les bords supérieurs du bac en ébonite et assure ainsi l'étanchéité. Le couvercle porte trois ouvertures, dont deux rendues étanches laissent passer les prises de courant.

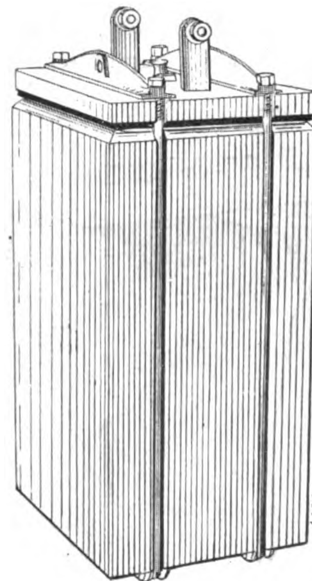


Fig. 7.

L'ouverture centrale, munie d'un bouchon, sert au remplissage et au dégagement gazeux.

Les constantes de ces éléments sont données par le tableau suivant, qui se rapporte au type de la figure 7, d'après les indications du constructeur.

| | | |
|---|---|---|
| Nombre de plaques | | 9 |
| Dimensions des plaques en mm | hauteur | 229 |
| | largeur | 197 |
| Dimensions de la caisse extérieure, en mm | longueur | 203 |
| | largeur | 248 |
| | hauteur | 476 |
| Hauteur totale de l'élément, en mm | | 508 |
| Poids total de plaques, en kg | | 27,21 |
| Poids d'acide, en kg | | 7,26 |
| Poids de l'élément complet, en kg | | 48,99 |
| Capacités en amp.-h. aux régimes de | 7,5 heures | 150 amp.-h. à 20 amp. |
| | 5 heures | 135 — 27 » |
| Intensité de charge normale, en ampères | | 30 |

Ces valeurs donnent comme capacités massiques :

3,06 ampères-heure par kilogramme de poids total, au régime de 7,5 heures;

2,75 ampères-heure par kilogramme de poids total, au régime de 5 heures.

Ou encore :

5,52 ampères-heure par kilogramme de plaques, au régime de 7,5 heures;

4,96 ampères-heure par kilogramme de plaques, au régime de 5 heures.

*Eléments pour automobiles.* — Dans les éléments pour voitures automobiles, le montage se fait dans des bacs en ébonite; les plaques reposent sur des tasseaux en ébonite et l'écartement des électrodes de noms contraires est obtenu par des séparateurs, également en ébonite et comprenant une âme perforée, et des nervures de renforcement qui assurent l'écartement des plaques, comme on le voit nettement d'après la figure 8. Les plaques sont soudées à des barrettes, portant chacune une prise de courant en plomb, qui traverse le couvercle en ébonite; celui-ci possède, en son milieu, un orifice, muni d'un bouchon qui sert au dégagement gazeux et au remplissage.

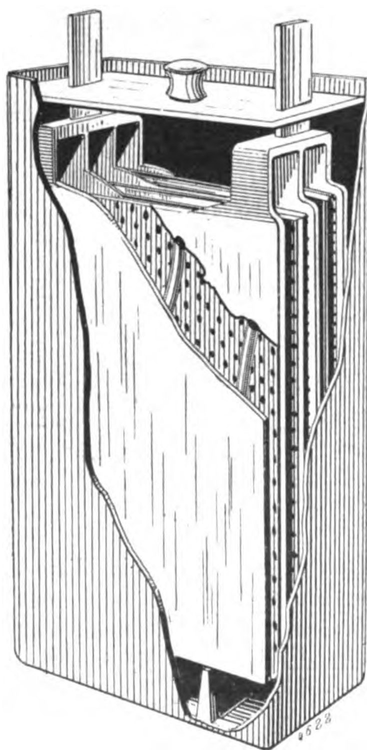


Fig. 8.

Les constantes de l'élément représenté en figure 8 sont données dans le tableau suivant :

| | | |
|---|---|---|
| Type de l'élément | | E. V. |
| Nombre de plaques | | 7 |
| Dimensions des plaques, en mm | hauteur | 197 |
| | largeur | 149 |
| Dimensions extérieures du bac d'ébonite, en mm | longueur | 82,5 |
| | largeur | 159 |
| | hauteur | 279 |
| Hauteur totale de l'élément, en mm | | 292 |
| Poids total de plaques, en kg | | 8,73 |
| Poids d'acide, en kg | | 1,93 |
| Poids total de l'élément, en kg | | 11,23 |
| Capacités en amp.-h. aux différents régimes | 3 heures | 81 amp.-h. à 27 amp. |
| | 4 heures | 90 » 22,5 » |
| Intensité de charge normale, en ampères | | 27 |

Rapportées à l'unité de poids d'élément, ces capacités deviennent :

7,21 ampères-heure par kilogramme d'élément au régime de 3 heures;

8,01 ampères-heure par kilogramme d'élément, au régime de 4 heures.

Et, en rapportant à l'unité de poids de plaques :

9,28 ampères-heure par kilogramme de plaques, au régime de 3 heures;

10,31 ampères-heure par kilogramme de plaques, au régime de 4 heures

*Batterie-tampon.* — Une batterie-tampon, du système Gould, a été installée à Lansing (Michigan). D'après *Street Railway Review* (septembre 1901), cette batterie comprend 240 éléments d'une capacité de 320 ampères-heure, au régime normal de 40 ampères; mais qui peuvent débiter 400 ampères pendant 15 minutes, ce qui correspond à une puissance de 200 kilowatts.

Avant l'installation de la batterie, l'intensité du réseau exigeait le fonctionnement de deux machines de 60 kilowatts chacune, ce qui, comme l'indique la courbe supérieure de la figure 9, était même insuffisant par moment, tandis que la puissance moyenne demandée n'excédait pas la puissance d'une seule machine.

L'installation de la batterie, qui est située à environ 2 km de la station centrale, a régularisé considérablement le débit de la machine,

ainsi que le montre la deuxième courbe de la figure 9. La troisième courbe de celle-ci montre

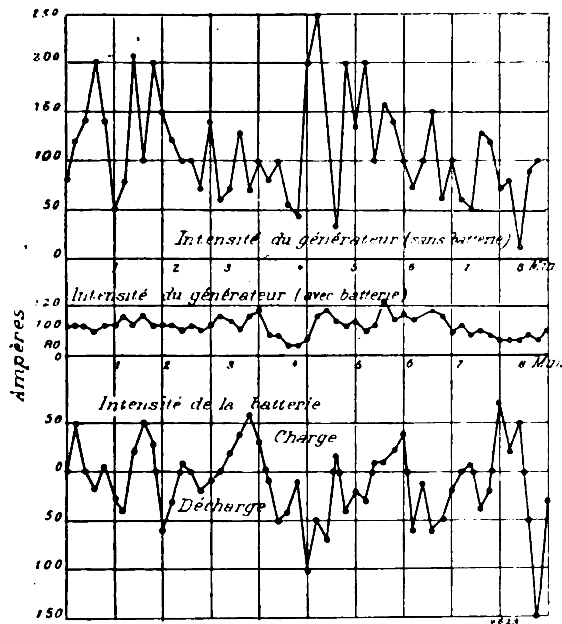



Fig. 9

les oscillations du courant de la batterie, qui effectue le réglage en passant par des périodes successives de charge et de décharge.

J. Reyval.

***Accumulateur électrique Hansen et Petersen.*** — Brevet français n° 312 869, du 20 juillet 1901; brevet hongrois n° 22 196, du 7 mars 1901. — *Centralblatt f. Accumulatoren und Elemententenkunde*, t. II, p. 273, 15 octobre 1901.

Les figures 1 et 2 montrent les deux genres de plaques dont sont composées les électrodes de ce nouvel accumulateur. Les figures 3 et 4 se rapportent à deux coupes horizontales d'électrodes terminées. La figure 5 représente la coupe verticale d'un élément comprenant deux plaques négatives et une positive. Enfin, on voit en figure 6 une variante de forme de plaque.

Les électrodes sont constituées à l'aide de deux sortes de plaques minces pouvant avoir une épaisseur très inférieure à 1 mm ; les unes *a* possèdent des rainures parallèles *i*, tandis que les autres *b* sont pleines. Pour composer une électrode, on superpose un certain nombre de plaques *a* (6, par exemple), puis on enfile dans les rainures *i* un nombre de plaques *b* correspondant à ces rainures (6 également, par exemple). Les plaques *a* sont ensuite placées à distance convenable les unes des autres, et maintenues par des pièces en bois ou autres, de telle façon que la plaque d'accumulateur a ainsi la section transversale de la figure 4. A ce moment, on soude entre elles les plaques *a* et *b* et on enlève les pièces de bois.

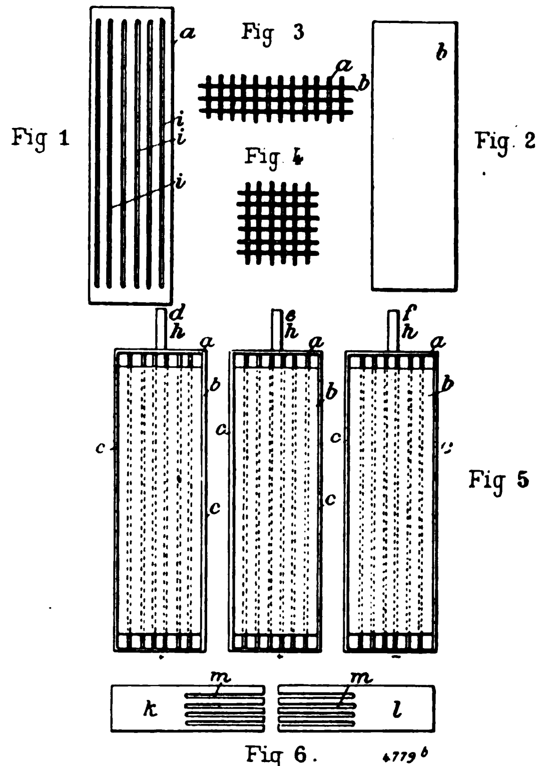



Fig. 1 à 6.

Dans la figure 3, on voit un autre profil avec plus de plaques *a* et moins de plaques *b*. Dans la variante représentée en figure 6, les deux plaques *k* et *l* possèdent des rainures parallèles *m* jusqu'à moitié de leur longueur, de telle façon que les deux peignes ainsi obtenus peuvent glisser l'un dans l'autre. Là aussi, les plaques *k* et *l* sont soudées ensemble.

Dans la figure 5, qui montre une coupe verticale d'un élément à trois plaques, celles-ci, constituées comme il est décrit plus haut, sont entourées d'un cadre *c* formé d'une mince plaque de plomb; ce cadre est destiné à établir les connexions; *d* et *f* sont les prises de courant négatives et *e* la positive.

Les inventeurs revendiquent, pour leur nouvel accumulateur, une grande capacité, en

même temps qu'une diminution de poids de 1/6 à 1/7 des accumulateurs actuels, et aussi un encombrement réduit. Les électrodes possédant une très grande surface seraient capables de recevoir de très fortes densités de courant, tout en étant très rigides. L. J.

***Nouveau système d'accumulateur Edison.*** — **Brevet français n° 314 805, du 8 octobre 1901.**

Ce nouveau brevet se rapporte à l'accumulateur alcalin, dont le zinc forme l'électrode négative soluble.

L'expérience a montré que lorsqu'on électrolyse une solution de zincate alcalin, le zinc se dépose à l'état spongieux sur divers métaux, principalement à cause de l'action locale électrique entre le zinc et ce métal, avec formation d'hydrogène libre et d'hydroxyde de zinc, qui déterminent tous les deux le caractère spongieux et non adhérent du zinc.

Edison considère également que le dépôt de zinc d'une solution alcaline sur les différents métaux employés jusqu'ici est impraticable quand on n'emploie pas le mercure, et qu'il n'y a que des quantités relativement petites de zinc, qui peuvent être déposées sur l'électrode amalgàmée avant de prendre le caractère spongieux.

Edison propose le magnésium métallique comme support du zinc électrolysé. Le magnésium étant placé plus haut que le zinc dans la série électrique, si une action doit avoir lieu, c'est sur ce premier métal qu'elle s'exercera et non sur le zinc. L'inventeur trouve cependant qu'en pratique le magnésium n'est pas attaqué et reste absolument neutre; il ne se produit pas d'action locale entre les deux métaux et il n'y a formation ni d'hydrogène ni d'hydroxyde de zinc, comme c'était le cas jusqu'ici. Dans ces conditions, le zinc se dépose sous la forme dense et adhérente, et, même avec un courant de grande intensité, des quantités considérables de ce métal peuvent être déposées avant que la surface arrive à manquer de cohésion.

Edison n'explique pas pour quelles raisons le magnésium n'est pas attaqué et pourquoi il n'y a pas d'action locale avec le zinc, ce dernier étant beaucoup moins oxydable que le magnésium. Il croit cependant que celui-ci se recouvre d'une couche excessivement mince d'oxyde insoluble dans le liquide et sur laquelle vient se déposer le zinc.

Le dépolarisant du couple ainsi constitué est de préférence l'hydroxyde de nickel ou de cobalt, comme il a été décrit dans un précédent brevet [1]. L'electrolyte se compose d'une solution de soude caustique à 20 p. 100, à laquelle on a ajouté du zinc jusqu'à saturation presque complète.

La figure 1 ci-contre montre en élévation un des supports en magnésium; la figure 2 se rapporte au support du dépolarisant. La figure 3

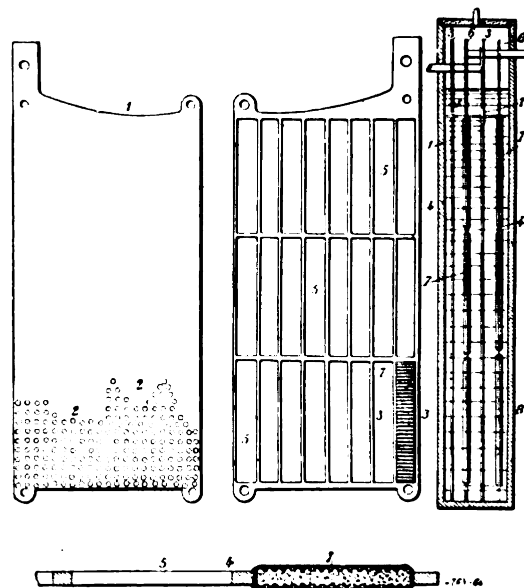


Fig. 1.

représente, à une échelle agrandie, une coupe suivant la ligne 3-3 de la figure 2. Enfin, la figure 4 est une coupe verticale d'un élément à quatre plaques de ce type.

Le support 1 est une plaque en magnésium munie d'un très grand nombre de perforations 2, qui augmentent l'adhérence du zinc et rendent sa distribution plus uniforme; des oreilles 3 servent à l'assemblage.

Le support 4 du dépolarisant est en tôle nickelée, ayant des ouvertures rectangulaires 5-5 et des oreilles conductrices 6.

Dans les ouvertures 5, on fixe des poches 7, formées en deux parties maintenues en les pressant de manière à former des plis après que la matière a été introduite dans les parties de chaque poche.

---

[1] *L'Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 124 et t. XXIX, p. 93.

Ces poches sont constituées par de la tôle mince, contenant une grande proportion de carbone, de façon à la rendre très élastique; cette tôle est soigneusement nickelée; les perforations qui y sont pratiquées sont obtenues en faisant passer les tôles entre des rouleaux appropriés, au moyen desquels le métal est déplacé à chaque ouverture pour former une bavure qui se projette vers l'intérieur et augmente ainsi la conductibilité.

Les replis horizontaux des parois des poches augmentent la rigidité et permettent l'emploi de tôles plus minces.

Les poches 7 sont remplies de matière dépolarisante, mélangée de parcelles de graphite pour augmenter la conductibilité.

A l'état neutre, tout le zinc est en solution et le dépolarisant, à l'état d'hydroxyde de nickel. En charge, celui-ci se peroxyde et le zinc se dépose sur le magnésium; cette charge est poussée jusqu'à ce que 75 p. 100 du zinc soit déposé.

Pendant la décharge, se produisent les réactions inverses et on trouve un point où la différence de potentiel tombe considérablement, par suite de l'épuisement d'oxygène du dépolarisant. La décharge doit être arrêtée à ce moment.

Le bac 8, qui sert au montage, est scellé hermétiquement; il est seulement muni d'un petit évent 9, pour le dégagement gazeux.

L. J.

***Plaque d'accumulateurs J.-B. Relin et C.-A. Rosier.*** Brevet français n° 292 163; brevet allemand n° 124 480; brevet anglais n° 24 297, de 1899.

La plaque se compose d'un cadre en plomb fondu ou découpé, à la partie supérieure duquel sont soudées de petites bandes minces en plomb B (fig. 1), tordues sur elles-mêmes. Ces bandelettes sont libres à la partie inférieure, afin de permettre la libre dilatation.

Ainsi constituées, les plaques sont formées électrolytiquement, après quoi elles pourraient être employées telles que, mais leur encombrement serait encore trop grand, car les spires des bandelettes B forment une épaisseur de chaque côté du cadre. Pour diminuer cette épaisseur, on écrase les plaques; mais afin de conserver les vides formés par les spires des bandelettes, on saupoudre celles-ci d'une matière granuleuse résistante, capable d'être ensuite facilement éliminée, par dissolution, par exemple, telle que le sel marin. Chaque plaque ainsi saupoudrée est soumise à l'action d'une presse et garde, en sortant de celle-ci, sa grande surface active.

La figure 1 montre une variante de forme;

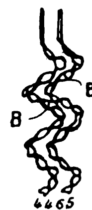



Fig. 1.

ici, les bandelettes B tordues sont enroulées sur un cylindre qu'on enlève ensuite. Les spirales ainsi obtenues sont soudées au cadre par une extrémité. Après formation, on saupoudre et on aplatit comme ci-dessus.

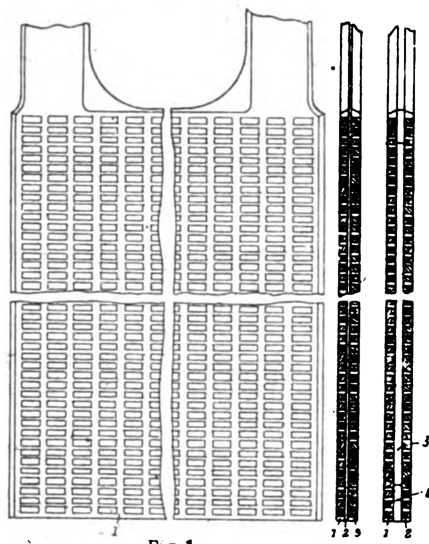
***Plaques d'accumulateurs Théodore Pescatore.*** — Brevet français n° 309 173, du 20 mars 1901. — Brevet anglais n° 21 233, du 23 novembre 900. — *Centralblatt f. Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 299, 15 novembre 1901.

Afin d'activer la circulation du liquide et d'augmenter la surface de contact entre la matière active et l'acide, l'inventeur double la surface de la plaque en la constituant, non pas comme on le fait ordinairement, d'un quadrillage épais, mais de deux lames minces parallèles.

La figure 1 représente une vue de la plaque en élévation; les figures 2 et 3 sont des coupes verticales en bout, la dernière se rapportant à une plaque munie de pièces d'espacement. La figure 4 montre la coupe horizontale d'un élément monté.

Les plaques, positives ou négatives, comprennent deux parties ou lames 1 et 2, que l'on vient accoler parallèlement. Entre ces deux lames, on laisse un intervalle 3. Dans le cas de la figure 2, celui-ci est déterminé simplement par les rugosités des lames en contact et est déjà suffisant pour produire l'effet voulu. Dans la figure 3, l'intervalle est plus grand et il y a des pièces d'espacement 4, venues de fonte d'une seule pièce avec une des moitiés de la plaque et aux quatre coins de celle-ci.

Dans la figure 4, des plaques négatives 5 et 6 de ce modèle alternent avec des positives 7 et 8



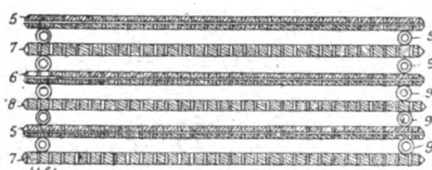




Fig. 1 à 4.

qui peuvent être quelconques ou encore du même type que les négatives. Des tubes de verre 9 9 séparent les plaques.

L. J.

***Procédé L. Creveling pour la fabrication de plaques d'accumulateur***. Brevet américain 665 827 du 23 mai 1900. *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. II, p. 83, 1er mars 1901.

L'inventeur fabrique des plaques poreuses par pulvérisation du plomb fondu et oxydation simultanée plus ou moins profonde de celui-ci. Les figures 1 à 4 ci-contre montrent le principe de la méthode : 1 et 2 sont des vues en élévation avec parties en coupe ; 3 et 4 sont des coupes d'après les lignes III-III et IV-IV. Le four (fig. 1 et 3) a un revêtement en tôle 1 protégé par les briques réfractaires 2. Le couvercle 3 garni d'amiante peut être soulevé par la poignée 4. Dans le creuset fermé 5, destiné à la fusion du métal, passe un entonnoir 6 avec robinet. Une buse 7, traversant l'ouverture 8 de la paroi du four, communique à l'intérieur du creuset 5 par la boîte à soupape 9, les tubes 10 et 12 et la pièce en T 11. L'extrémité inférieure de celle-ci est fermée et repose sur le massif réfractaire 13. Des bagues 14 maintiennent so-

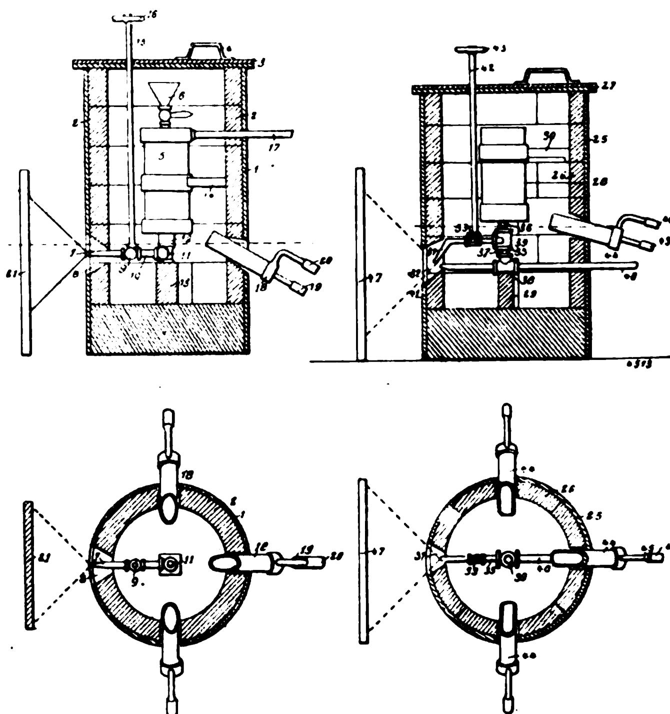


Fig. 1 à 4.

lidement le creuset. La soupape 9 est manœuvrée de l'extérieur du four par le volant 16 et la tige 15. Le tube 17 amène l'air comprimé à la partie supérieure du creuset. La température nécessaire est obtenue par les chalumeaux 18 avec tube d'air 19 et tube de gaz 20. Le métal fondu injecté par la buse 9 se rassemble en 21 et forme une plaque poreuse. Dans une variante (fig. 2 et 4) l'arrivée d'air comprimé se fait par le tube 40 terminé par la buse 41 qui se trouve en regard de la buse 31.

Pour fabriquer une plaque, on ferme d'abord la soupape 9 ou 33 et on remplit le creuset 5 ou 28 de plomb. On chauffe à l'aide des chalumeaux 18 ou 44 jusqu'à la température voulue ; on ouvre ensuite la soupape et on envoie l'air comprimé par les tubes 17 ou 40. Pour l'appareil figure 1 et 3, le robinet de l'entonnoir 6 étant fermé, l'air provoque un jet de plomb très finement divisé sur 21. Dans l'appareil figures 2 et 4, le courant d'air qui s'échappe du point

voisin de la buse, projette le métal fondu contre 47. Les petites gouttelettes de métal fondu s'oxydent sur leur chemin par contact avec l'air. Cette oxydation est aidée par la flamme oxydante du chalumeau et peut être réglée en faisant varier l'introduction de gaz et d'air et en éloignant plus ou moins le chalumeau de la buse. En faisant sortir une flamme suffisante par l'ouverture 8 ou 32, on peut arriver à oxyder complètement les particules de plomb fondu par contact avec la flamme et l'air atmosphérique. L. J.

## TRACTION

***Omnibus automobile Siemens et Halske sur route à prise de courant aérienne,*** par **Max Schiemann**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 964, 21 novembre 1901.

Ce mode de transport, applicable aux voyageurs et aux marchandises, se distingue par son faible prix d'installation, soit 25 000 à 30 000 fr le kilomètre, non compris l'usine génératrice, tandis qu'un tramway électrique à rails coûte de 100 000 à 125 000 fr, y compris la station centrale; le premier peut donc être préférable dans beaucoup de cas, attendu qu'il permettra souvent de réaliser, dès le début, des bénéfices appréciables.

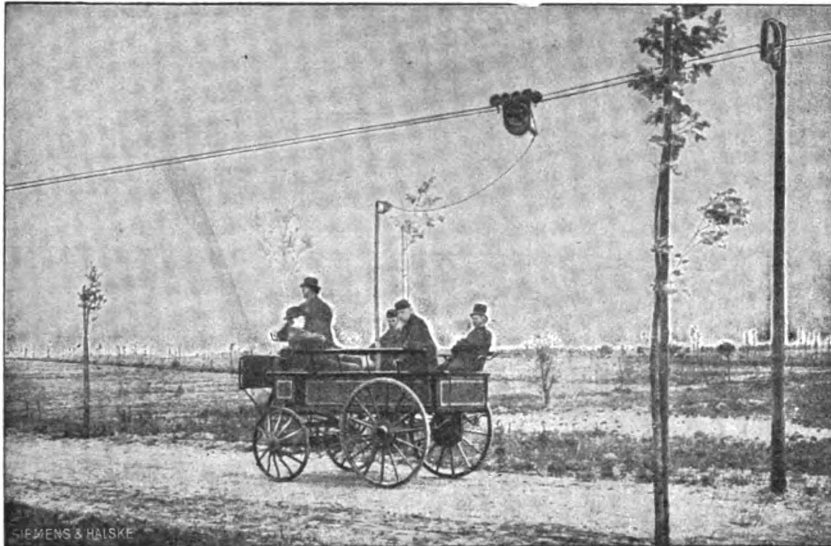



Fig. 1.

La première installation de ce genre a été faite par la maison Lombard-Gérin, au parc de Vincennes, pendant l'Exposition universelle de Paris, en 1900; depuis, au printemps de cette année, le même système a été utilisé pour relier la gare à la ville d'Eberswalde : la ligne aérienne est double et les appareils de prise de courant consistent en un chariot automoteur réuni par câbles souples au véhicule (fig. 1).

Dans le système appliqué par l'auteur, dans la vallée de Biela (Bielathal), on s'est efforcé de conserver, autant que possible, les dispositions usitées ordinairement dans les tramways, afin de pouvoir facilement, sans grosses dépenses, le cas échéant, transformer l'installation en un tramway ordinaire, par la seule addition d'une voie ferrée. La ligne aérienne est double, la prise de courant constituée par un frotteur semblable au système Dikinson : la liberté de mouvement du véhicule reste largement suffisante pour lui permettre de se déplacer sur toute la largeur de la route (7 à 8 m), soit un écart de 3 m par rapport aux fils de ligne.

La figure 2 donne une vue de côté d'un véhicule, muni d'un petit fourgon à bagages; la figure 3 montre le croisement d'une voiture ordinaire et d'un omnibus; la figure 4 montre comment deux voitures peuvent se croiser, l'une maintenant ses frotteurs abaissés, pendant que l'autre passe en sens inverse avec ses perches de frotteurs très inclinées.

Le service fonctionne dans la vallée de Biela,

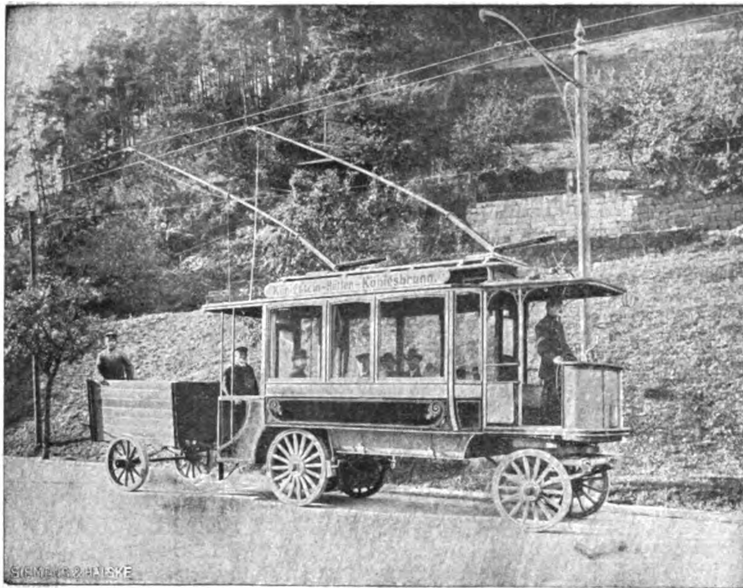


Fig. 2.

entre Kœnigstein-sur-l'Elbe, Hütten et Kœnigsbrunn, depuis le 10 juillet de l'an dernier. En même temps que le transport des voyageurs, il assure un mouvement important de marchandises entre le quai de l'Elbe et la gare de marchandises de Kœnigstein et le village industriel de Hütten, et sera prolongé, l'année prochaine, jusqu'à la cure d'air de Bad Schweizermühle, à une distance de 11 km et une altitude de 270 m.

Les voitures sortent des ateliers Siemens et Halske.

La vitesse est de 12 km à l'heure, pour les voitures de voyageurs, 8 à 10 km à l'heure, pour les wagons de marchandises.

Le frotteur est mobile autour d'un axe vertical et d'un axe horizontal : il comporte une composition en métal antifriction approprié et est lubréfié avec de la graisse consistante.

Sa mise en place sur le fil est très facile, à cause de la grande dimension de la fourche qui le termine. Les perches et leur ressort sont mobiles autour d'un axe vertical, et le frotteur reste toujours parallèle à la voiture : les deux perches sont situées aux deux extrémités de la voiture.

Le premier type de voiture mis en service (voir les figures) est dissymétrique et ne marche que dans un seul sens : pour tourner, à l'extrémité de la ligne, on laisse les frotteurs sur les conducteurs, et la manœuvre se fait avec le courant, comme le montre la figure 5.

Le fil de cuivre de la ligne a sa section en forme de huit, ce qui permet de le fixer aux isolateurs par des mâchoires à fente longitudinale, sans vis ni soudures. Ces isolateurs sont eux-mêmes montés sur des barres plates et rigides en fer forgé, reliées à la console par des isolateurs à boule. De cette façon, l'écartement des fils est toujours maintenu constant, les couples s'exerçant dans les courbes, sur le fil, se détruisent réciproquement, et on peut y employer les mêmes isolateurs que dans les alignements droits; de plus, le fil peut se déplacer, sous l'influence de la chaleur, dans ses mâchoires, tout le long des poteaux, entre les points d'ancrage. On n'a pas, en général, à prévoir de bifurcation, ce

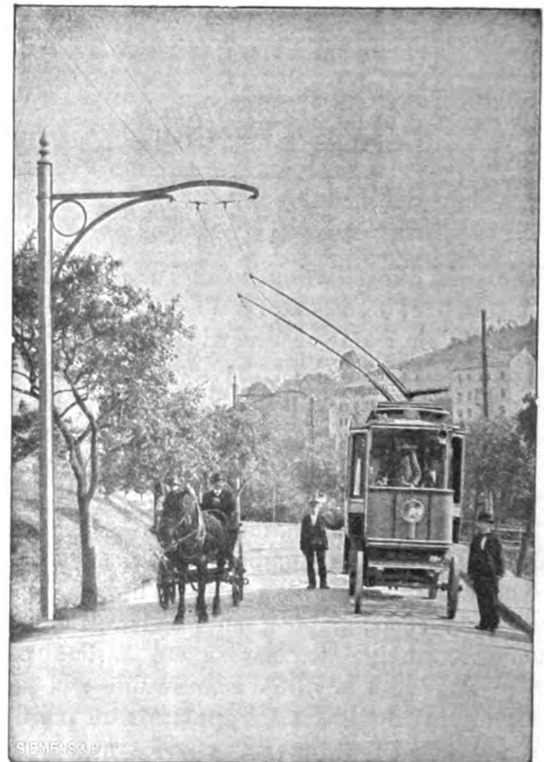


Fig. 3.

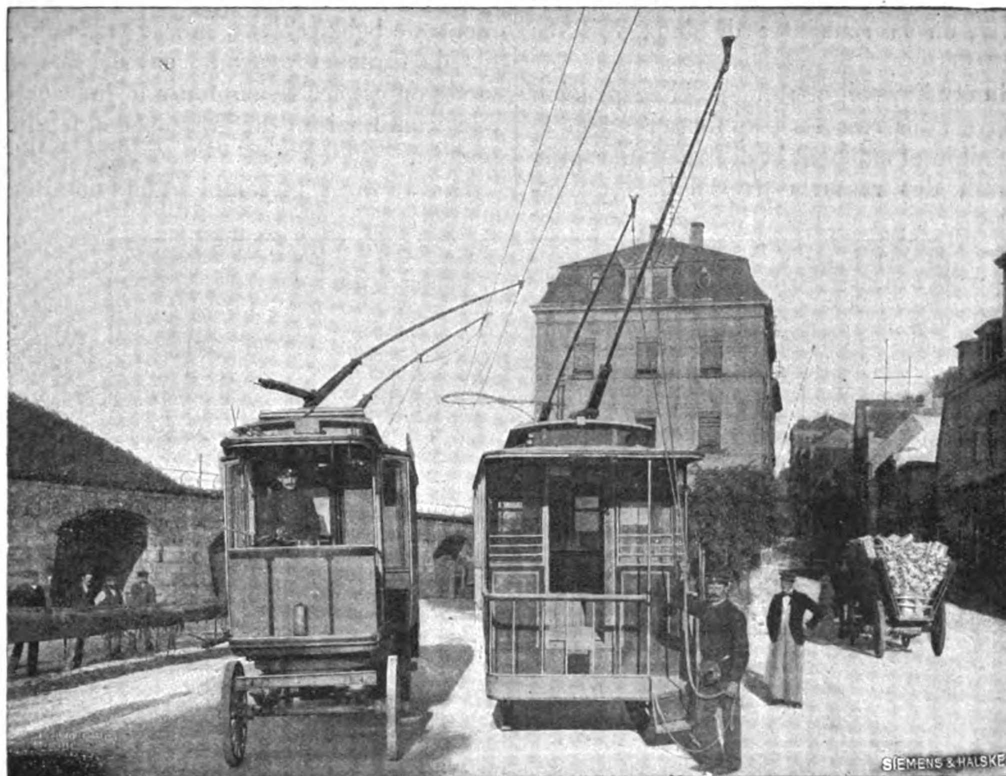



Fig. 4.

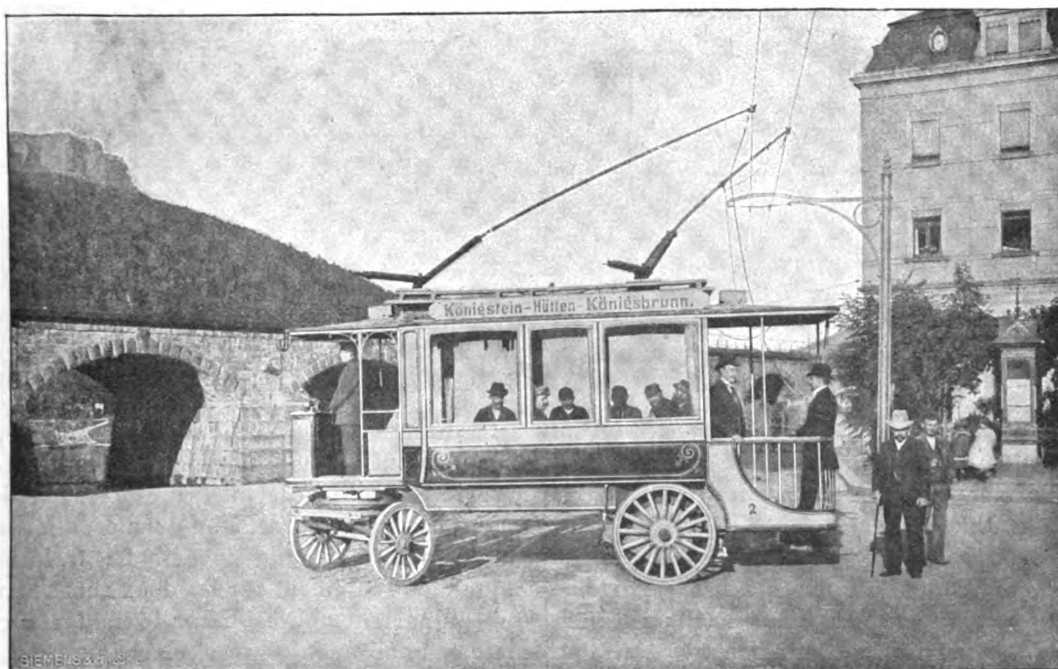



Fig. 5.

genre d'installation s'appliquant surtout aux faibles trafics, où la rencontre de deux voitures est rare.

Il a fallu étudier soigneusement la suspension de la voiture : des ressorts trop forts rendent le voyage pénible et amènent la destruction rapide du matériel, des ressorts trop faibles provoquent, à toutes les inégalités du sol, des mouvements de balancement, qui se transmettent aux fils de ligne et y produisent de mauvais contacts ; on est arrivé à obtenir le juste milieu par une combinaison de ressorts à feuilles et à boudin.

Les voitures ressemblent aux omnibus à chevaux ordinaires : elles ont des roues de 1 à 1,1 m de diamètre, avec des jantes de 9 à 10 cm de largeur ; une voie de 1,5 m ; deux moteurs et une réduction par engrenage dans le rapport 1/8.

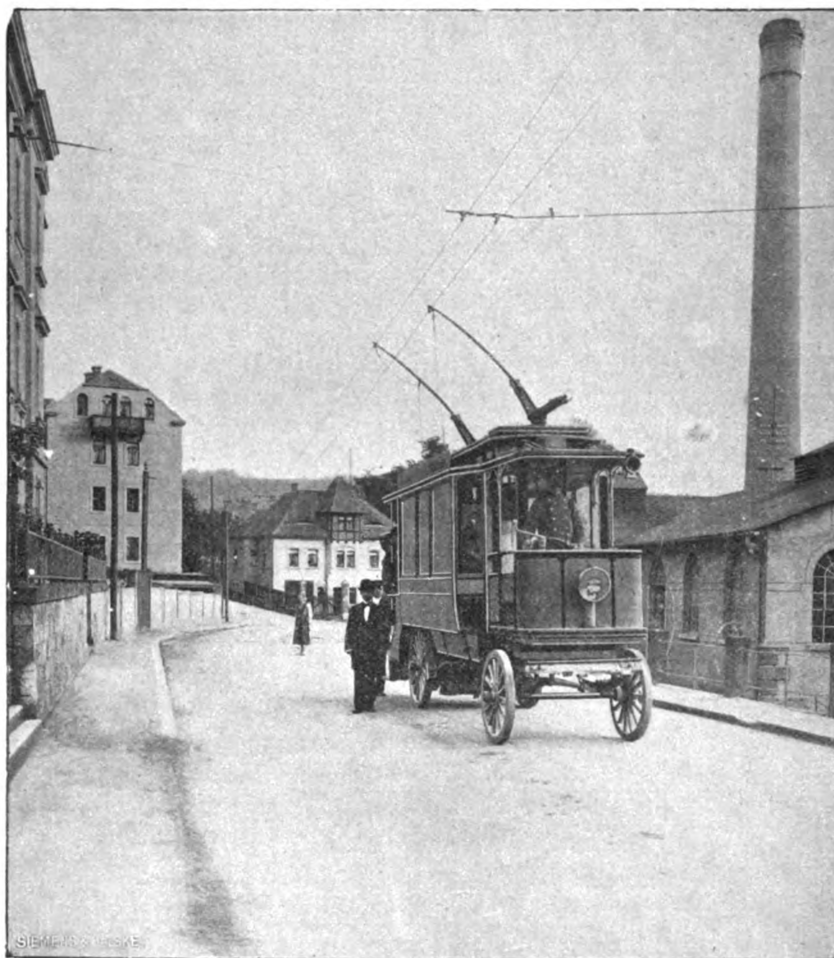


Fig. 6.

Elles contiennent 18 places assises et 6 debout, sur la plate-forme arrière, la plate-forme avant étant réservée au conducteur. L'éclairage est assuré par 6 lampes électriques à l'intérieur, 1 à l'avant, 2 à l'arrière et un phare.

La direction de l'omnibus s'obtient par rotation de tout l'avant-train, entre deux cercles, avec interposition de billes ; elle est si douce qu'on peut manœuvrer, à une seule main, le volant d'un diamètre de 60 cm. Le frein mécanique agit seulement sur les deux roues arrière, qui comportent une sablière ; le conducteur emploie ordinairement le frein électrique, qui agit sur les deux essieux et se manœuvre par le controller.

On obtient les différentes vitesses par le couplage série parallèle des deux moteurs.

Sur le toit, sont installés des parafoudres, des coupe-circuits et un disjoncteur automatique à maxima, d'un accès facile pour le wattman.

La vallée présente une pente moyenne de 25 p. 1 000, des courbes nombreuses, mais un sol excellent. En comptant 25 à 30 kg par tonne pour le frottement de roulement, il faut un effort, à la montée, de 50 kg, et, à la descente, un effort nul : on descend donc sans courant et sans frein. Un tramway à rails nécessiterait seulement un effort de $25+12=37$ kg, à la montée, et, à la descente, un freinage de $25-12=13$ kg.

On a constaté d'ailleurs que, pendant une période de trois mois, la dépense d'énergie s'est élevée à environ le double de la dépense correspondante à un tramway sur rails. Ce supplément de dépense ne représente pas ici la dixième partie de l'économie réalisée sur l'intérêt, l'amortissement et l'entretien de la voie : d'où ressort nettement l'avantage principal de ce mode d'exploitation, dans le cas d'un faible trafic. A. M.

***Nouveau procédé pour la réduction de la chute de potentiel dans les rails, servant de conducteurs de retour dans les tramways électriques***, communication de **M. G. Kapp** à la Société électrotechnique de Berlin, et discussion; *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 19, 2 janvier 1902.

M. Kapp rappelle qu'il y a 6 ans, il a déjà indiqué un procédé employé dans quelques installations allemandes et dans beaucoup d'installations anglaises, pour réduire les courants vagabonds dans les réseaux de tramways électriques, munis de feeders de retour, le procédé consiste à intercaler dans ces feeders de retour, des sous-volteurs, appelés par les Anglais « Boosters », excités en série sur le courant principal de ligne, et qui provoquent dans le feeder de retour une sorte de succion sur le courant, en y compensant la chute de tension par une force électromotrice convenable, proportionnelle à la longueur du feeder [1].

L'emploi de feeders de retour sous-voltés s'impose dans le cas d'un réseau urbain, où existent de nombreuses conduites d'eau et de gaz se croisant dans tous les sens, et où la différence de potentiel entre deux points d'un rail doit rester extrêmement faible, d'autant plus qu'alors les frais d'établissement de ces feeders sous-voltés ne représentent qu'une faible partie du coût total de l'installation.

Il en est tout autrement lorsqu'il s'agit d'une ligne de tramways, toute en longueur, présentant peu d'embranchements : dans ce cas, on a rarement besoin d'assurer un aussi faible écart entre les valeurs du potentiel dans les rails et l'établissement de feeders de retour sous-voltés pour une aussi grande longueur, serait beaucoup trop onéreuse.

L'auteur propose alors la solution suivante : On coupe, en certains points, convenablement choisis, les rails, qui constituent l'unique conducteur de retour et on intercale en série dans la coupure, un petit sous-volteur (ou booster), excité en série sur le courant de ligne et commandé par un moteur électrique branché en dérivation entre la ligne et le rail.

Le montage se fait d'après le schéma de la figure 1 dans laquelle $S_1$ $S_2$ désigne le rail, $A_1$ $A_2$, deux coupures faites aux extrémités d'un tronçon de longueur supérieure à la distance des essieux extrêmes du plus long train, F l'inducteur série du sous-volteur, W, W des résistances fixes dont le milieu est connecté au tronçon de rail coupé, et qui servent à permettre le démarrage de la voiture si par hasard elle venait à s'arrêter sur ce tronçon; on peut d'ailleurs les supprimer, en prenant des précautions pour éviter un arrêt en ces points : les sous-volteurs peuvent être installés dans une cabane quelconque, et visités seulement de temps en temps.

Dans le cas d'une installation à courants alternatifs triphasés, à deux lignes aériennes, le sous-volteur est remplacé par un transformateur série spécial, fig. 2.

Par l'emploi de ce dispositif, la courbe représentative du potentiel dans le rail, qui, en négligeant les courants vagabonds, était représentée

[1] Les Allemands discutent sur l'opportunité de germaniser le mot « booster », ou de le remplacer par un équivalent de la langue courante : nous n'entrerons pas dans cette discussion peu importante pour les lecteurs français; nous appellerons simplement ces appareils des sous-volteurs.

L'installation la plus importante faite dans ce sens est celle de Glasgow, où il existe une douzaine de sous-volteurs, construits chacun pour 1 000 ampères, et dans laquelle la différence des tensions aux points de branchement des feeders de retour ne dépasse jamais 1 volt.

par une parabole CKP (fig. 3), devient une courbe discontinue telle que celle de la figure 4 [1].

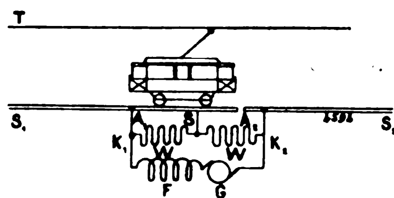



Fig. 1.

Si on place les sous-volteurs de telle façon que les points K se trouvent aux endroits où

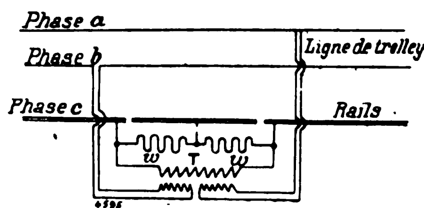



Fig. 2.

existent le plus grand nombre de conduites, on

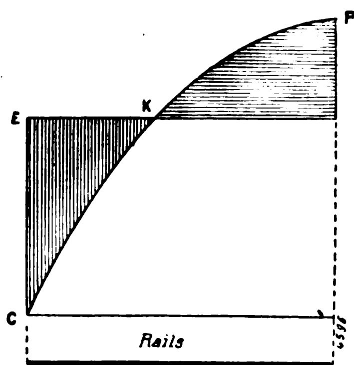



Fig. 3.

aura un danger final très faible pour ces conduites.

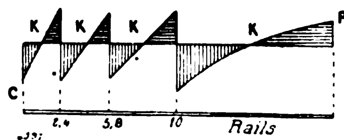



Fig. 4.

Cette communication de M. Kapp a donné lieu à différentes remarques, les unes relatives au terme booster, les autres concernant le fonctionnement de ces boosters ou sous-volteurs [1]. A.M.

[1] Cette figure 4 se rapporte à l'exemple suivant : tramway à voie unique, d'une longueur de 20 km, avec voitures se succédant à 10 minutes d'intervalle, et une durée totale du trajet égale à une heure ; vitesse maximum, 25 km à l'heure ; cinq ou six arrêts à chaque trajet. Dans ces conditions, pour une tension de 500 volts, le courant moyen est 240 ampères. L'usine est placée en C ; la résistance de 1 km de voie est 0,02 ohm et la charge par kilomètre, 12 ampères. La chute de tension, les courants vagabonds étant supposés nuls, serait de 48 volts pour une voie ordinaire, et représentée par la figure 3. Si on suppose qu'en chaque point, les courants vagabonds sont proportionnels à la différence de potentiel entre le rail et le sol (ce qui n'est, d'ailleurs, pas rigoureux, car les courants ont à vaincre, non seulement la résistance de contact du sol avec le rail, mais aussi la résistance et les forces électromotrices de polarisation des sels de la terre), en traçant une horizontale qui détermine deux surfaces CEK et KPH égales, on aura le potentiel du sol ; les ordonnées comprises entre EKH et la courbe représenteront pour chaque point du rail le danger de dégradation par électrolyse couru par les conduites ou par le rail, suivant le sens du potentiel du rail par rapport au sol ; celle des deux surfaces, qui est hachurée verticalement, représente une mesure du danger couru par les conduites qui côtoient cette section du rail, où le rail est négatif par rapport au sol.

Dans le cas de la parabole de la figure 3, la ligne E (potentiel du sol) est aux 2/3 de la hauteur LP ; le potentiel théorique de la voie, au-dessus du sol, est ainsi + 16 volts au terminus et — 32 volts à la station centrale.

Dans la figure 4, on a supposé installés trois sous-volteurs à des distances respectives de la station génératrice, 2,4 km, 5,8 km et 10 km, de puissances correspondantes : 12 volts × 212 ampères = 2 550 watts, 12 volts × 170 ampères = 2 040 watts, et 13 volts × 120 ampères = 1 560 watts, soit en tout 6,2 kilowatts. En supposant 60 p. 100 de rendement du groupe survolteur, et tenant compte des 6 volts perdus jusqu'au kilomètre 2,4 soit 1 440 watts, cela fait une dépense, pour le retour, de 11,84 kilowatts ; le retour par les rails sans sous-volteurs aurait coûté 32 × 240 = 7760 watts.

Pour 3 000 km-voitures par jour, cela fait un surcroît de dépense de 50 kilowatts-heure, soit 2,7 p. 100 des 1850 kilowatts-heure que nécessitera journellement la station centrale. D'autre part, les courbes montrent (fig. 4) que le coefficient représentatif du danger pour les conduites, s'est abaissé de 100 à 23, la somme des surfaces hachurées verticalement de la figure 4, ne représentant que les $\frac{23}{100}$ de la surface analogue de la figure 3 ; en particulier, près de la station, le danger pour les conduites est devenu environ douze fois plus faible.

[1] *Remarques et objections sur le système Kapp.* — Sur une question de M. von Gaisberg, M. Kapp indique que des sous-volteurs sont employés en Allemagne, à Schöneberg et dans un tramway de la Haute-Silésie.

M. von Gaisberg fait remarquer que le danger, théoriquement égal pour les rails et les conduites, l'est en réalité beaucoup plus pour les conduites, parce que pour ces dernières, il est localisé sur des tronçons très

courts, traversées de rues, branchements, etc., tandis que pour les rails, il est réparti sur une grande surface.

M. le Dr Kallmann. — Dans le cas d'une ligne de tramway de grande longueur, comme celle que donne M. Kapp, la différence de potentiel entre les extrémités n'atteint pas même la moitié de la valeur théorique, comme le montre l'exemple des plus mauvais tramways américains ; il faudrait donc compter au plus 24 volts. D'autre part, la différence de potentiel se répartit uniformément le long des rails, et n'atteint qu'une faible valeur par kilomètre, soit 2,4 volts.

A cette disposition, le procédé Kapp substitue des différences de potentiel discontinues, avec des relèvements brusques de 12 volts environ par sous-volteur.

Or, l'expérience du Diatto a montré, notamment à Paris, qu'une différence de potentiel de 12 volts est très dangereuse pour les chevaux. D'autre part, de cette différence de potentiel, brusquement établie entre deux extrémités très voisines des rails (50 ou 100 m au maximum), résultera nécessairement la formation de courants vagabonds très importants, qui auront pour premier résultat de créer une zone très dangereuse, et pour second résultat, de nécessiter une augmentation considérable de la puissance du sous-volteur ; le phénomène est analogue à ce qui se passe quand on veut puiser de l'eau avec un tamis. L'importance de ces courants vagabonds étant sujette à subir des variations de durée plus ou moins longue, suivant la nature du sol entre les extrémités des rails (présence de sels conducteurs, modification de la résistance au contact, etc.), il faudra faire varier, suivant les cas, la puissance du survolteur dans des limites assez éloignées, ce qui pourra nécessiter une surveillance de ces appareils, plus active que ne le dit M. Kapp.

Il serait donc désirable de pouvoir vérifier l'importance de ces critiques sur un exemple, dans un avenir aussi rapproché que possible.

M. Kapp. — Le danger n'est pas aussi grand qu'on le croit, pour les chevaux : il est d'ailleurs à peu près annulé par l'emploi de tronçons de rail inactifs entre les extrémités où nait la différence de potentiel signalée : de telle sorte qu'un cheval ne pourra toucher à la fois qu'une partie active et une partie morte, et ne recevra aucune commotion.

Les calculs de puissance ont été faits par l'inventeur, et de ce fait, sont forcément favorables, mais il est à espérer que l'erreur par défaut dans l'évaluation de la puissance sera compensée par l'erreur par excès qui résulte de l'hypothèse admise d'une différence de potentiel théorique, beaucoup trop élevée, double au dire de M. Kallmann.

Si d'ailleurs, au pis aller, il fallait doubler la puissance calculée pour les sous-volteurs, il n'en résulterait encore qu'un surcroît de dépense de charbon de 5,4 p. 100 pour la station centrale.

D'autre part, il ne faut pas oublier que le sous-volteur est excité en série sur le courant de la ligne de trôlet, et que, par suite, il est auto-régulateur.

M. von Dolivo-Dobrowolsky, dans une lettre adressée à l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 22, 2 janvier 1902, fait remarquer que la disposition indiquée par M. Kapp (fig. 2), pour le cas des courants alternatifs mono ou polyphasés, ne donnerait pas de bons résultats.

En effet, si pour simplifier, on raisonne sur le cas du monophasé, on voit que les bobines primaires et secondaires doivent être enroulées en opposition, sans quoi le transformateur ne serait qu'une bobine de self intercalée sur le réseau. Dans ces conditions, le champ résultant sera engendré par la différence des ampère-tours primaires et secondaires et la force électromotrice qui en résultera sera décalée de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au champ résultant, c'est-à-dire par rapport à la direction commune des courants ; le sous-volteur ainsi obtenu est donc déplorable, puisque : 1° il donne naissance à une force électromotrice proportionnelle, non pas au courant de la ligne, mais à la différence des courants dans la ligne et dans les rails, ou mieux, à la différence des ampère-tours correspondants, si le rapport du transformateur est différent de 1 ; 2° la force électromotrice ainsi obtenue est en quadrature avec les courants, et par suite, occasionne un relèvement de tension bien peu appréciable sur la ligne.

Le résultat est identique pour le triphasé (fig. 2.)

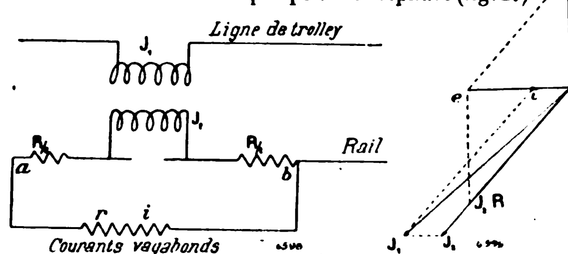



Fig. 5 et 6.

M. K. Krogh. — Dans une lettre adressée à l'*Elektrotechnische Zeitschrift* (23 janvier 1902, p. 79), donne le principe exact du fonctionnement des boosters ou sous-volteurs employés dans les courants alternatifs.

Le schéma de montage est indiqué figure 5, et le diagramme de fonctionnement dans la figure 6.

Si on désigne par $J_1$ le courant dans la ligne, $J_2$ le courant dans le rail et le sous-volteur, par $i$ le courant vagabond entre les deux points $a$, $b$ ; $e$ la tension entre ces points, placés symétriquement de part et d'autre du transformateur, $\frac{R}{2}$ la résistance du tronçon de rails entre $a$ et $b$ et le transformateur, et si on suppose que les courants $J_1$ et $J_2$ agissent en sens inverse dans le transformateur de rapport 1, on voit que le courant magnétisant est égal à $i$, différence géométrique entre $J_1$ et $J_2$ ; ce courant $i$ est en phase avec $e$ ; la force électromotrice qui en résulte dans le secondaire est E, décalée en arrière de $\frac{\pi}{2}$ sur $i$ ; finalement, la tension $e$ est la différence géométrique entre la force électromotrice E et la chute ohmique $RJ_2$, qui se trouve ainsi représentée par l'hypothénuse d'un triangle rectangle, de côtés $e$ et E ; on peut compléter le diagramme en traçant $J_2$ et $J_1$.

La présence du sous-volteur n'annule donc pas la chute de tension entre deux points $a$ et $b$, mais elle substitue à la valeur $RJ_2$ une valeur plus petite $e$ ; la diminution de la chute de tension dépend de la grandeur de E, c'est-à-dire des constantes magnétiques du transformateur et des courants vagabonds ; elle sera d'autant plus

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS [1]

*Séance du mercredi 7 mai 1902.*

**M. Jacquin** parle longuement de l'***Éclairage électrique des trains de chemins de fer.*** Après avoir rappelé les essais faits avec des piles, il décrit les installations faites avec batteries d'accumulateurs amovibles, avec batteries d'accumu-

---

grande que ces courants seront plus importantes ; il y aura donc là une action utile, puisque le sous-volteur tendra à réduire la chute de tension d'autant plus que la nature du sol favorisera le développement des courants vagabonds. A. M.

(1) En rendant compte de la séance du 5 mars, nous signalions le rapport documenté, sur les essais magnétiques des fers dans l'industrie, lu par **M. Armagnat**, au nom de la sixième commission ; en voici la reproduction d'après le dernier *Bulletin.*

« Les essais magnétiques des fers n'ont pas encore pris dans l'industrie la place importante qui devrait leur être réservée, étant donné le rôle considérable de ce métal, sous ses différentes formes, dans la construction de tous les appareils électriques.

» Alors que la conductibilité des cuivres, qui varie aujourd'hui dans des limites assez étroites, est l'objet d'une surveillance constante, la perméabilité du fer et la perte d'énergie causée par l'hystérésis sont rarement l'objet d'un essai sérieux, bien que ces grandeurs diffèrent beaucoup d'un échantillon à l'autre.

» Les causes de cette différence de traitement sont connues : d'une part, le calcul des éléments magnétiques des machines ne peut actuellement se faire que par des méthodes d'approximation, tandis que les calculs relatifs au rôle du cuivre sont directs et faciles ; d'autre part, et c'est là surtout que réside la cause de l'indifférence apparente pour ces essais, les méthodes et les appareils de mesures magnétiques sont peu connus et beaucoup d'industriels les considèrent comme exclusivement destinés aux laboratoires.

» A côté des méthodes relativement précises, qui ont été et sont encore employées lorsqu'on dispose d'un laboratoire bien outillé, sont venus, depuis quelques années, se placer des instruments d'un caractère plus industriel, destinés à faciliter la mesure des propriétés magnétiques et permettant de répéter ces mesures aussi souvent qu'il est nécessaire.

Il faut reconnaître que les industriels qui ont eu l'initiative d'employer ces instruments se sont trouvés en présence de résultats bien faits pour détruire leur confiance, le manque de concordance entre ces divers appareils rendant les comparaisons très difficiles. C'est sur les anomalies de ces instruments, sur l'interprétation des résultats qu'ils fournissent, sur les services qu'ils ont déjà rendus et ceux qu'ils sont appelés à rendre, que la sixième Commission veut appeler votre attention.

» Si tous ceux qui ont étudié pratiquement ces questions veulent bien nous apporter le concours de leur expérience, il pourra sortir de la discussion des moyens d'essai plus uniformes et plus concordants, qui permettront des progrès dans la métallurgie et dans l'emploi du fer et de ses dérivés.

» Industriellement, les propriétés magnétiques d'un fer sont déterminées quand on connaît, d'une part, l'induction $\mathcal{B}$, ou la perméabilité $\mu$, pour différentes valeurs de la force magnétisante $\mathcal{H}$, et, d'autre part, la perte d'énergie causée par l'hystérésis. Selon les applications, on peut avoir besoin de connaître l'une ou l'autre de ces propriétés, ou les deux.

» La méthode balistique, appliquée à un barreau droit de très grande longueur, ou à un anneau, est la seule méthode exacte d'un emploi facile, car la méthode du magnétomètre exige des conditions que l'on ne rencontre jamais dans l'industrie.

» Par la méthode balistique, on obtient la valeur de $\mathcal{B}$ en fonction de $\mathcal{H}$, et l'on mesure aussi l'hystérésis, mais cette méthode exige un matériel assez compliqué, elle est longue et doit être appliquée par des personnes très exercées, faute de quoi elle risque de perdre toute sa valeur. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que les mesures magnétiques sont, en apparence, très faciles et que les résultats qu'elles donnent sont ordinairement d'une régularité trompeuse ; il faut avoir eu l'occasion de refaire fréquemment les mêmes essais, sur un même échantillon, pour apercevoir les très nombreuses causes d'erreur qui viennent vicier les résultats.

» Les instruments industriels ont pour but de parer à ces difficultés et de faciliter ces mesures dans les ateliers, en les mettant à la portée des personnes non habituées aux mesures électriques. En réalité, si l'on fait abstraction des erreurs systématiques inhérentes à chacun de ces appareils, les résultats obtenus sont, en général, plus concordants entre eux que ceux donnés par les méthodes plus exactes, quand les essais sont faits par des opérateurs différents.

» Dans les instruments appelés *perméamètres*, le fer essayé est placé dans une bobine magnétisante entourée d'un bloc de fer doux de grande section. Le circuit magnétique est souvent coupé par un entrefer de faible longueur. La présence du bloc de fer et de l'entrefer nécessite une correction sur la valeur de la force magnétisante, celle-ci étant dépensée en partie dans le bloc et dans l'entrefer. Une première cause de divergence naît de cette correction ; d'un perméamètre à un autre, la correction, plus ou moins parfaite, peut entraîner des erreurs absolues assez considérables, qui rendent les instruments non comparables entre eux.

» Une autre cause d'erreurs, autrement grave pour les perméamètres, résulte des *joints* entre le fer essayé et les blocs de fer qui ferment le circuit magnétique. Ces joints doivent être faits avec un très grand soin, de façon que le contact soit aussi parfait que possible, sinon la réluctance du circuit magnétique est trop élevée et il en résulte que la perméabilité mesurée avec ces instruments

lateurs chargées sur les trains mêmes. Enfin, il expose les conditions de construction et d'exploitation des systèmes comprenant une ou plusieurs dynamos placées dans le train et entraînées soit par l'essieu de la voiture sur laquelle est placée cette machine, soit par un moteur à vapeur spécial alimenté par la chaudière de la locomotive.

Les systèmes à batterie amovibles ont donné lieu à un certain nombre d'installations : sur les chemins de fer du Jura-Simplon, sur les wagons-poste allemands, les wagons-poste français, le chemin de fer de l'Est français, etc. Mais ils exigent des manutentions coûteuses et un nombre de batteries de réserve considérable; ainsi au Jura-Simplon, pour 668 voitures éclairées, il a fallu

---

est toujours *trop faible*. Avec des joints mal faits, l'erreur peut être quelconque, les résultats n'ont plus aucune signification.

» Cette question des joints est capitale pour les perméamètres; aucune solution complète du problème ne paraît avoir été donnée jusqu'à présent. Avec du soin, on peut arriver à obtenir des joints passables pour les barreaux pleins, *mais pour les tôles la question reste entièrement à résoudre*.

» Dans les mesures d'hystérésis, comme dans les mesures de perméabilité, des différences systématiques existent entre les méthodes et les appareils, de sorte que, si l'on classe des échantillons de fer au point de vue de l'hystérésis, on constate que l'*ordre* est le même avec tous les appareils, mais que le *rapport* entre deux échantillons varie avec chaque hystérésimètre.

» La mesure de l'hystérésis peut, d'après certains auteurs, se faire à l'aide des perméamètres, en traçant la courbe de $\mathcal{B}$ en fonction de $\mathcal{H}$, pour un cycle complet, comme on le fait dans la méthode balistique, mais le bloc de fer qui existe dans tous ces appareils introduit une cause d'erreur qu'il est difficile d'éliminer.

» Dans la méthode du wattmètre, les résultats obtenus dépendent de la forme du courant, ce qui rend la comparaison avec les autres méthodes très difficile; néanmoins, comme cette méthode est assez employée, il serait intéressant de connaître la valeur des résultats qu'elle fournit dans la pratique.

» Les hystérésimètres donnent des différences systématiques suivant qu'ils mesurent l'hystérésis tournante ou l'hystérésis alternative; il ne faut donc pas s'étonner de trouver dans le premier cas des coefficients d'hystérésis plus élevés, d'environ 20 ou 25 p. 100, que dans le second cas.

» L'hystérésis d'un fer s'exprime, soit en indiquant la dépense en joules par centimètre cube et par cycle, pour une induction donnée, soit par le coefficient de Steinmetz. Dans les deux cas, on admet que l'hystérésis suit la loi de Steinmetz, ou, tout au moins, une fonction constante de l'induction maximum, ce qui permet de définir cette qualité par un seul coefficient.

» Dans les hystérésimètres, on compare le fer essayé à un échantillon d'hystérésis connue. On sait, aujourd'hui, que certaines tôles ont un coefficient d'hystérésis qui varie avec le temps; cette variation cause quelquefois des erreurs considérables dans les mesures et dans l'emploi.

» Dans tous les essais magnétiques, l'état physique de l'échantillon joue un rôle considérable, par suite il est indispensable de se placer toujours dans des conditions bien définies et, pour cela, il faut éviter tout travail mécanique susceptible de modifier notablement cet état. Le recuit, qui est le meilleur moyen de placer l'échantillon dans un état bien défini, n'est pas toujours possible, parce que le fer doit être employé tel qu'il est et qu'il ne faut pas placer l'échantillon dans des conditions différentes.

» Les essais magnétiques étant d'une précision très aléatoire, il convient d'accorder une assez large tolérance dans les conditions de réception.

» Les considérations ci-dessus ont amené la sixième Commission à préparer le questionnaire suivant qui sera envoyé aux constructeurs et aux métallurgistes, les réponses obtenues devant servir de base à la discussion de ce sujet devant la Société.

A. — *Perméabilité*.

» Quelles sont les méthodes d'essai employées :

*a*. pour les fers, aciers et fontes ?

*b*. pour les tôles ?

» 2° Quelles sont les conditions imposées aux fournisseurs et quelle méthode d'essai doit servir de base à la réception ?

» 3° Quels sont les points les plus importants à connaître selon la nature et l'emploi des fers ? (inductions faibles ou élevées; point d'inflexion de la courbe; saturation).

» 4° Jusqu'à quelle grandeur de l'induction et du champ magnétisant doivent être gradués les perméamètres ?

» 5° Quelles sont les formes des joints adoptés dans les perméamètres pour les fers pleins et les tôles ?

» 6° Quelle tolérance est accordée dans les résultats ?

B. — *Hystérésis*.

» 1° Quelles sont les méthodes d'essai employées ?

» 2° Quelles sont les conditions imposées aux fournisseurs et quel est l'appareil indiqué pour la réception ?

» 3° Quels sont les écarts constatés entre les résultats donnés par différents hystérésimètres ?

» 4° Quelle tolérance est accordée ?

» 5° Quel est le rapport entre l'hystérésis tournante et l'hystérésis alternative ? Ce rapport est-il constant ?

» 6° La loi de Steinmetz se vérifie-t-elle *pratiquement* pour tous les fers et toutes les inductions employées ?

» 7° La variation du coefficient d'hystérésis avec le temps est-elle générale ou limitée seulement à certaines qualités de tôles ?

» 8° Comment faut-il découper les échantillons pour modifier le moins possible leur hystérésis.

M. le Président remercie M. Armagnat, Secrétaire, et le Président de la sixième section : ce rapport sera tenu à la disposition des membres qu'intéresse cette question, puis communiqué aux constructeurs et établissements métallurgiques, en vue de sa discussion dans une prochaine séance.

acquérir 1150 batteries. Ils sont donc très coûteux.

Les systèmes où la batterie est placée à demeure sur le wagon, où elle est rechargée, remédient en partie à ces inconvénients ; c'est le dispositif qui est adopté par la Compagnie des chemins de fer du Nord sur tout son nouveau matériel à bogies et sur ses lignes de la Ceinture et du train-tramway de Saint-Denis.

L'emploi de dynamos actionnées par les essieux des voitures ne dispense pas de l'emploi des accumulateurs, en raison des arrêts, des variations de vitesse et des changements de marche. Des dispositifs très ingénieux ont parfois été imaginés pour assurer un éclairage régulier, malgré ces conditions défavorables. Ce système a été un des premiers employés ; il est en service sur la ligne anglaise London Brighton depuis 1882 et sur la ligne du Great Northern depuis 1886.

On peut, avec ce système, employer une seule dynamo et une seule batterie qui alimentent tous les vagons, ou bien munir chaque wagon d'une petite installation indépendante

L'éclairage au moyen d'un groupe électrogène alimenté par la chaudière de la locomotive a été peu employé jusqu'ici.

M. Jacquin a décrit tous ces systèmes et chaque installation en particulier dans ses plus petits détails : dimensions et poids des batteries, puissance des lampes, etc. Nos lecteurs connaissent déjà la plupart de ces systèmes par les descriptions qui en ont été publiées ici ; les points nouveaux développés par l'auteur feront l'objet d'un prochain article.

**M. E. Hospitalier** soumet à la Société le dispositif qu'il a adopté pour la ***Représentation matérielle des graphiques à trois dimensions***, dispositif qui pourra rendre de réels services dans l'enseignement. M. Hospitalier l'a appliqué en particulier à l'étude de la variation du couple d'un moteur asynchrone lorsqu'on fait varier la vitesse angulaire et la résistance du rotor. D'ordinaire, on trace la courbe des variations du couple en fonction de la vitesse pour une résistance donnée, puis, successivement, on trace sur la même feuille des courbes analogues pour des résistances différentes. L'ensemble de ces courbes n'est pas facilement lisible et ne donne pas, surtout aux débutants, une idée suffisamment exacte de la variation du phénomène. M. Hospitalier a pensé à employer des courbes en fil de laiton qu'il fixe sur une planchette munie de trous ; un des côtés de la planchette est divisé en parties proportionnelles aux vitesses ; l'autre côté, à angle droit, est divisé en parties proportionnelles aux résistances ; pour chacune de celles-ci, on reproduit en fil métallique la courbe du couple en fonction de la vitesse. L'ensemble de ces courbes donne une représentation très frappante de l'allure de la variation.

**M. E. Hospitalier** présente aussi un ***Télétachymètre*** de son invention, imaginé spécialement pour contrôler la vitesse de marche des voitures automobiles. Cet appareil fonctionne avec les accumulateurs destinés à l'allumage du moteur à pétrole. Il se compose d'une bobine d'induction très petite, — en réalité une bobine d'induction d'un appareil microtéléphonique —, d'un interrupteur spécial à trois branches et d'un voltmètre ordinaire gradué en kilomètres-heure. Les deux circuits, primaire et secondaire, de la bobine sont reliés entre eux à une extrémité ; ce point médian est relié à une des touches du commutateur qui est lui-même monté sur l'essieu de la voiture : l'extrémité libre du primaire est relié à la source d'électricité et à une seconde touche du commutateur ; l'extrémité libre du secondaire est reliée à la troisième touche de ce commutateur à travers le voltmètre. Les parties métalliques et les parties isolantes du commutateur, qui a la forme d'un cylindre et sur lequel viennent frotter les touches, sont calculées de façon que les circuits, primaire et secondaire, soient ouverts et fermés dans l'ordre voulu pour que seuls les courants induits dans le secondaire passent dans le voltmètre sans que celui-ci soit influencé par les courants de rupture du primaire. C'est là le point essentiel de l'invention.

**M. M. Latour** expose ensuite les résultats de ses travaux sur les ***Alternateurs à collecteurs ;*** ces travaux ayant donné lieu à la publication de nombreux articles dans *L'Éclairage Électrique*, nous n'insisterons pas sur cette communication, non plus que sur la discussion qui s'est élevée à la suite entre M. M. Latour et Heyland.

G. P.

---

*Le Gérant* : C. NAUD.

Tome XXXI. Samedi 24 Mai 1902. 9e Année. — N° 21.

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## FONCTIONNEMENT COMPARÉ
## DES MACHINES A VAPEUR ET DES MOTEURS A GAZ

Nous avons démontré déjà [1], par des chiffres et par des faits, que le rendement thermique du groupe gazogène-moteur à gaz est supérieur à celui des meilleures installations de chaudières et de machines à vapeur, de n'importe quelle puissance, la vapeur fût elle-même surchauffée dans de bonnes conditions.

Mais le rendement thermique n'est pas le seul élément à considérer, quand on veut établir un parallèle entre les appareils à gaz et à vapeur.

L'économie de chaleur n'a d'intérêt pratique pour l'industrie que si elle se traduit par une économie réelle d'argent; le bon emploi des calories est en effet une condition primordiale dans l'espèce, mais elle resterait fictive, si elle n'aboutissait en dernière analyse à un abaissement du prix de l'unité de travail; le rendement thermique est, pour ainsi dire, la coquetterie d'un système, le prix du cheval-heure effectif en est la réalité pratique.

La sécurité de la marche est une seconde question, qui prime souvent toutes les autres, car la continuité du travail importe davantage à certaines industries qu'une réduction du prix de revient ; il faut être certain de vivre avant que de chercher à bien vivre. D'ailleurs, une faible économie quotidienne peut être grandement compromise par un arrêt fortuit d'usine, dont les conséquences sont souvent désastreuses.

[1] Voir les numéros de *L'Éclairage Électrique* des 4 et 11 janvier 1902 : Rendement comparé des machines à vapeur et des moteurs à gaz.

La régularité de la marche constitue un troisième élément ; cette considération s'impose impérieusement en certains cas ; elle est tributaire de l'élasticité du moteur, grâce à laquelle celui-ci pourra faire face aux variations incessantes et considérables du travail qui lui sera imposé, et développera à l'occasion un coup de collier pour surmonter une résistance imprévue.

La consommation d'eau est enfin une dernière question qui peut devenir rédhibitoire en des lieux, où la pénurie d'eau ne permet pas l'emploi de la condensation et fait même obstacle quelquefois à l'installation d'une machine à vapeur à échappement libre.

Nous étudierons tour à tour ces diverses questions, qui interviennent dans le choix d'un système de moteur et constituent les données essentielles du problème à résoudre.

I. Prix de revient du cheval-heure effectif. — Cet élément est extrêmement variable avec les temps et les lieux : il subit l'influence de causes nombreuses, dont les effets se superposent et se confondent de telle manière qu'il est extrêmement difficile de prononcer un jugement motivé, sans en entourer les considérants de multiples distinctions.

La consommation de charbon et son prix constituent évidemment la base principale de la dépense ; la consommation est surtout une affaire de calories, mais la valeur de la terre est fonction de beaucoup d'autres choses.

Et d'abord, le prix d'un combustible dépend non seulement de sa qualité, mais encore de sa nature et de sa forme. Une houille à 9 000 calories se paie à bon droit plus cher qu'une houille à 7 000 calories : l'acheteur s'y résigne, parce qu'il retrouve en travail l'excédent de chaleur disponible. Mais, à égalité de pouvoir, un charbon anthraciteux spécial, non collant, qui donne un coke de belle tenue et peu de cendres est coté plus cher qu'un charbon demi-gras quelconque, se trouvant partout et ne faisant jamais prime sur aucun marché. Enfin, une braisette ou des gaillettes criblées, sans menus, chargées à la pelle à grille, se vendent à un taux plus élevé que des fines ou du tout-venant.

Tous ces combustibles, quels qu'ils soient, suivent nécessairement les fluctuations des cours et l'effet de la prédominance de l'offre sur la demande : ces fluctuations peuvent devenir très notables. En ces derniers temps, une hausse considérable s'était produite à la suite d'une période de grande activité industrielle et commerciale ; mais une réaction a amené une regrettable stagnation des affaires, après laquelle les charbonniers, devenus moins exigeants, ont baissé légèrement leurs prix. Or, quand on trace la courbe de cette oscillation des cours, on constate qu'elle n'a pas été de même amplitude pour les diverses variétés de combustibles et pour les différentes régions. C'est, qu'en effet, le prix de la tonne se compose de la valeur intrinsèque du produit et de la valeur du frêt, parfois égale à la première, et ces deux éléments sont indépendants l'un de l'autre dans une certaine mesure, de sorte que les cours ne varient pas proportionnellement pour les charbons ordinaires et pour les charbons spéciaux, à différentes distances des bassins d'extraction, à Lille, Paris ou Bourges.

Le complexité de la question ressort de ce bref exposé ; on voit combien il est difficile de taxer avec précision les charbons de chaudières et les charbons de gazogènes. Les seconds, qui sont d'une nature déterminée, moins communs, nécessairement criblés, d'ailleurs mis en valeur aujourd'hui par leur emploi domestique, dans les poêles américains, sont assurément plus chers que les premiers. Mais à quel prix estimerons-nous les uns et les autres ? Des chiffres exacts en 1898 ne le sont plus en 1902 ; ce qui est vrai à Lille n'est pas vrai ailleurs; l'importance des marchés à conclure avec les fournisseurs doit elle-même être prise en considération. La perfection plus ou moins grande des divers

gazogènes intervient enfin, attendu que les uns exigent des anthracites du pays de Galles de première qualité, tandis que les autres s'accommodent de charbons maigres de Charleroi ou d'Anzin, dont le prix est presque moitié moindre ; les appareils Mond donnent même encore de bons résultats avec des menus bitumineux à 5,60 fr la tonne. Mais c'est là un cas particulier, qu'il est permis de faire valoir quand on plaide la cause des gazogènes sans pouvoir cependant le prendre pour point de départ d'une comparaison d'espèce.

En somme, il faut mettre en parallèle des conditions générales et des prix moyens : or, nous considérons comme moyen un charbon pour chaudière demi-gras, à 15 p. 100 de matières volatiles, 8 p. 100 de cendres, d'un pouvoir de 8 000 calories, tout venant, coûtant 20 fr la tonne, et un charbon de gazogène anthraciteux, renfermant 12 p. 100 de matières volatiles, 6 à 8 p. 100 de cendres, d'un même pouvoir que ci-dessus, braisette criblée à 30 sur 50, sans poussiers, coûtant 24 fr la tonne. Pour ce qui est du coke, nous le supposerons à 22,50 fr la tonne, ce qui fait environ 0,90 fr l'hectolitre : le gaz d'éclairage ayant un pouvoir moyen (supérieur) de 5 250 calories par mètre cube à 0° et 760 mm sera estimé à 0,15 fr le mètre cube.

La dépense d'huile et de graisses de lubréfaction doit être ajoutée au prix du combustible pour établir le prix de l'unité de travail par heure ; mais nous ne compterons rien pour l'eau, que nous supposerons aspirée par les propres moyens du moteur, en quantité strictement suffisante pour le fonctionnement des appareils.

Voilà pour les frais proportionnels ; arrivons maintenant aux frais généraux, qui comprennent l'intérêt et l'amortissement du capital, les salaires du personnel et les dépenses inévitables de réparation et d'entretien du matériel.

L'évaluation des dépenses de premier établissement ne donne lieu à aucune difficulté non plus que le calcul des intérêts des capitaux immobilisés que nous réglerons au taux de 5 p. 100. L'amortissement annuel est destiné à la reproduction de ces capitaux, réduits progressivement par l'usure; il varie avec la nature des appareils qui en sont l'objet et avec leur robustesse. Il est basé sur le taux de l'argent et sur la durée probable des installations [1]. Les bâtiments ont longue vie ; en les amortissant par 2 p. 100 (au taux d'intérêt de 5 p. 100), on leur prête une durée de vingt-cinq ans huit mois; les terrains, qui gagnent plus souvent de la valeur qu'ils n'en perdent, ne s'amortissent pas. Mais les machines se détériorent et se démodent ; il faut aussi prévoir des progrès de la science qui pourraient obliger de les remplacer avant l'heure. Le taux de l'amortissement doit être plus élevé pour des moteurs à grande que pour des moteurs à petite vitesse ; pour des machines légères que pour des machines fortement membrées ; pour des machines à explosion que pour d'autres dans le cylindre desquelles il ne se produit que des pressions modérées et graduellement progressives ; pour des appareils qui sont encore dans leur phase d'évolution et de perfectionnement que pour des machines dont le type est depuis longtemps fixé et dont le rendement générique est très élevé. En conséquence, il paraît nécessaire de consacrer à l'amortissement des moteurs à gaz 10 p. 100 de leur valeur, alors qu'on n'attribuera que

---

[1] L'annuité A capable d'amortir en $n$ années un capital C au taux $r$ de l'intérêt est donnée par la formule

$$A = C \frac{r}{(1+r)^n - 1};$$

la fraction $\frac{r}{(1+r)^n - 1}$ est dite le taux $t$ de l'amortissement; on a pour déterminer le nombre d'années

$$n = \frac{\log(r+t) - \log t}{\log(1+r)}.$$

7 p. 100 aux moteurs à vapeur; c'est leur supposer huit ans et quatre mois d'existence au lieu de onze ans et six mois. On voit par cette différence d'évaluation combien nous voulons rester impartial et combien nous redoutons de nous laisser influencer par l'intérêt théorique que nous portons au moteur à gaz.

Les frais de personnel sont très réduits pour un moteur à gaz de ville ; par contre, ils sont équivalents pour les groupes, chaudières et machines, gazogènes et moteurs. Les dépenses d'entretien et de nettoyage se compensent aussi dans les deux cas.

Nous possédons maintenant toutes les données nécessaires à l'évaluation exacte du prix de revient du cheval-heure effectif; le travail de comparaison que nous avons projeté entre les appareils à vapeur et à gaz sera ainsi fondé sur une base solide et indiscutable. Nous mettrons en parallèle des machines de même puissance dans les conditions les plus convenables de leur emploi : un moteur à gaz de 12 chevaux effectifs, alimenté de gaz de ville, marchant par intermittences pendant un nombre d'heures limité, sera comparé à une machine à vapeur demi-fixe, à échappement à l'atmosphère, avec chaudière semi-tubulaire ; un moteur à gaz, accouplé à un gazogène à gaz pauvre, fonctionnant dix heures par jour, développant 100 chevaux effectifs, sera placé en face d'une machine monocylindrique à condensation, servie de vapeur saturée sèche par une chaudière assurant une parfaite stabilité manométrique et un bon rendement thermique.

Pour le moteur à gaz de 12 chevaux, nous compterons sur une consommation de 700 litres de gaz par cheval-heure effectif; la demi-fixe consommera 4 kg de charbon, l'allumage y compris ainsi que l'entretien du feu. La machine à vapeur de 100 chevaux n'en demandera que 1,500 kg ; le moteur à gaz avec gazogène sera supposé ne dépenser que 650 gr de braisette, les menus formés dans la manutention et les escarbilles extraites des cendres étant employés à chauffer la chaudière : il n'y a donc aucuns déchets inutilisables. Ces résultats sont ceux qu'on obtient dans une marche industrielle ([1]).

PUISSANCE DE 12 CHEVAUX

*Dépenses de premier établissement.*

| | MACHINE A VAPEUR DEMI-FIXE | MOTEUR A GAZ |
|---|---|---|
| Diamètre du cylindre | 150 mm | 225 mm |
| Course du piston | 0,300 m | 0,450 m |
| Nombre de tours par minute | 120 | 180 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Machine sur sa chaudière | 6 900 fr | Moteur complet | 6 800 fr |
| Montage et fondations | 500 » | Montage et fondations | 400 » |
| Tuyauteries d'eau | 250 » | Tuyaux gaz et eau | 400 » |
| Cheminée en tôle | 400 » | Compteur à gaz | 500 » |
| Bâtiment : 15 m² à 80 fr | 1 200 » | Bâtiment : 10 m² à 80 fr | 800 » |
| Total | 9 250 fr | Total | 8 900 fr |

Un moteur de 12 chevaux effectifs, marchant au gaz de ville, durant cinq heures seulement par jour, est donc plus économique qu'une bonne machine à vapeur demi-fixe ; mais les rôles seraient renversés, si la journée de travail était de dix heures. Le prix du cheval-heure ne serait alors plus que de 16,2 centimes par la vapeur, tandis que par le gaz il serait encore de 17 centimes. Cet exemple met en évidence l'influence exercée par les conditions et la durée du fonctionnement d'un moteur sur le prix de revient du travail.

([1]) Nous tenons à faire observer que nous aurions le droit de supposer des consommations moindres en gaz et en anthracite; nous prenons les chiffres forts.

### *Prix du cheval-heure effectif.*

(Marche de 5 heures par jour, 1 500 heures par an.)

| | VAPEUR | GAZ DE VILLE |
|---|---|---|
| *Frais généraux :* | | |
| Intérêt du capital à 5 p. 100 | 462,50 fr | 445,00 fr |
| Amortissement — Bâtiments : 2 p. 100 | 24,00 » | 16,00 » |
| Amortissement — Machines 7 p. 100 | 563,50 » | — » |
| Amortissement — Machines 10 p. 100 | — | 810,00 » |
| Personnel | 1 500,00 » | 600,00 » |
| Entretien, nettoyages | 150,00 » | 150 00 » |
| Totaux | 2 700,00 fr | 2 021,00 fr |
| *Frais proportionnels :* | | |
| Charbon : 4 kg × 12 × 1 500 = 72 t. 72 × 20 = | 1 440,00 fr | |
| Gaz : 0,700 × 12 × 1 500 = 12 600 m³ 12600 × 0,15 = | | 1 890,00 fr |
| Graissage | 120,00 » | 160,00 » |
| Totaux généraux | 4 260,00 fr | 4 071,00 fr |
| Prix du cheval-heure effectif | 23,7 centimes | 22,6 centimes |

Comparons maintenant les groupes chaudière-machine à vapeur et gazogène-moteur à gaz pauvre ([1]) :

#### PUISSANCE DE 100 CHEVAUX

### *Dépenses de premier établissement.*

| | MACHINE A VAPEUR à condensation. | MOTEUR à gaz pauvre. |
|---|---|---|
| Diamètre du cylindre | 500 mm | 480 mm |
| Course du piston | 1,000 m | 0,700 m |
| Nombre de tours | 60 | 160 |

Pression : 5 kg.

| | |
|---|---|
| Chaudière à vapeur de 75 m², complète | 10 000 fr |
| Maçonneries de la chaudière | 2 000 » |
| Cheval-alimentaire, etc. | 1 000 » |
| Machine à vapeur | 21 000 » |
| Fondations | 1 600 » |
| Montage | 1 500 » |
| Tuyauteries, etc. | 3 000 » |
| Cheminée | 3 500 » |
| Bâtiments couverts (110 m²) et terrain | 10 000 » |
| Total | 53 600 fr |

| | |
|---|---|
| Gazogène et gazomètre | 16 000 fr |
| Maçonneries | 600 » |
| Moteur à gaz | 24 000 » |
| Fondations | 1 000 » |
| Montage | 1 500 » |
| Tuyauteries | 2 500 » |
| Bâtiments couverts (100 m²) et terrain | 10 000 » |
| Total | 55 600 fr |

### *Prix du cheval-heure effectif.*

(Marche de 10 heures par jour, 3000 heures par an.)

| | VAPEUR | GAZ PAUVRE |
|---|---|---|
| *Frais généraux :* | | |
| Intérêt du capital à 5 p. 100 | 2 680,00 fr | 2 780,00 fr |
| Amortissement — Bâtiments : 2 p. 100 | 302,00 » | 332,00 » |
| Amortissement — Machines 7 p. 100 | 2 695,00 » | — |
| Amortissement — Machines 10 p. 100 | — | 4 400,00 » |
| Personnel | 3 000,00 » | 3 000,00 » |
| Entretien, nettoyages | 750,00 » | 750,00 » |
| Totaux | 9 427,00 fr | 11 262,00 fr |

([1]) Nous avons déjà publié en 1890 un parallèle entre le prix du cheval-heure par machine à vapeur ou à gaz

| | | |
|---|---|---|
| ***Frais proportionnels :*** | | |
| Charbon de chaudière : | | |
| 1,5 kg × 100 × 3000 = 450 t. | | |
| 450 × 20 = | 9 000,00 fr | |
| Charbon de gazogène : | | |
| 0,650 × 100 × 3000 = 195 t. | | |
| 195 × 24 = | | 4 680,00 fr |
| Graissage (huile et graisses) . . . . . . | 450,00 » | 750,00 » |
| Totaux généraux. . . . . . . . | 18 877,00 fr | 16 692,00 fr |
| Prix du cheval-heure effectif. . . . . . | 6,29 centimes | 5,56 centimes |

Le moteur à gaz fait donc gagner 2 190 fr par an.

Il y aurait encore un léger bénéfice à réaliser en brûlant dans le foyer de la chaudière du gazogène non pas de l'anthracite, mais du coke et des menus d'anthracite : c'est ce qui se fait pour les gazogènes Dowson, Pierson, Deutz, etc.

Les chiffres ci-dessus sont exacts et pourraient sans danger être garantis par les constructeurs ; les résultats obtenus à Lausanne, à Bâle, à Poitiers, aux glacières de la Briche, etc., les confirment ; l'emploi des gaz pauvres est donc plus économique que celui de la vapeur, pour des groupes de 100 chevaux. C'est vrai encore pour 200 chevaux ; mais pour 500, la vapeur arrive à égalité, à moins qu'on ne fasse des installations avec récupération des sous-produits, comme celles de MM. Brunner, Mond et C° à Winnington. L'usine de 20 000 chevaux projetée par M. Humphrey établira sans doute un jour, sur des documents irréfutables, le bénéfice qu'on peut s'assurer en accordant aux gazogènes et aux moteurs bien étudiés et bien construits, la confiance qu'ils méritent, pour les plus puissantes installations et les plus grandioses applications.

II. — Sécurité du fonctionnement. — Un siècle d'étude et de pratique a élevé la machine à vapeur à une perfection de forme et de construction qui la met présentement au premier rang des moteurs. Ses organes, calculés par des formules qui ont subi l'épreuve d'une application maintes fois répétée, établis d'après des règles qu'un service prolongé a confirmées ou corrigées, quand il le fallait, sont dessinés et construits dans les meilleures conditions d'action et de résistance ; les métaux dont ils sont fabriqués se sont d'ailleurs admirablement appropriés à leur fonction par une sélection rationnelle, que les progrès de la métallurgie ont facilitée. Le mécanisme de la machine à vapeur est ainsi devenu un chef-d'œuvre de l'art, présentant une remarquable sécurité de fonctionnement, et qui n'est plus exposé qu'à de bien rares accidents. Le graissage des organes frottants se fait de telle sorte aujourd'hui que l'usure est réduite au minimum et que des grippements ne se produisent presque jamais ; les ruptures d'arbres, de boutons de manivelle, de crosses, de tiges de pistons, d'étriers de bielles, de transmission de pompes à air, de tiges de tiroirs, de cylindres, de bâtis, etc., autrefois assez fréquents, ne constituent plus qu'une éventualité improbable pour toute machine bien conduite, sévèrement surveillée, et non surmenée. Les coups d'eau seuls, causés quelquefois par un entraînement violent de l'eau des chaudières, plus souvent par une invasion du cylindre par l'eau au condenseur, restent une menace pour le moteur à vapeur, mais certaines précautions imposées du conducteur et des appareils de sûreté, ingénieusement appliqués, conjurent le péril et sauvegardent la machine.

Les avaries de chaudières sont peut-être plus à redouter que celles du mécanisme

pauvre, pour une puissance de 75 chevaux ; à Rouen, le gaz pauvre faisait réaliser un bénéfice annuel de 2493 francs. (Paris; Courtier, 1890.)

moteur; des coups de feu aux tôles qui voient le charbon incandescent, des fuites aux tubes et aux entretoises, des corrosions du métal, peuvent provoquer des arrêts, mais une inspection soigneuse, faite par des hommes du métier, et les visites officielles périodiques imposées par l'administration, font généralement découvrir ces tares avant qu'elles ne produisent de conséquences funestes. Aussi les explosions sont-elles moins fréquentes qu'autrefois; en 1898, le corps français des mines a relevé 44 accidents, ayant produit 22 morts d'hommes et 33 blessures graves; en 1899, il y eut 50 accidents, 25 tués et 20 blessés. Les causes ont été attribuées pour parts égales à des conditions défectueuses d'établissement, d'entretien et d'emploi. Cela fait environ 3 accidents annuels par 10 000 appareils en service.

Bref : la machine à vapeur présente aujourd'hui une grande sécurité de fonctionnement.

Le moteur à gaz a bénéficié lui aussi de l'expérience acquise par les constructeurs, de la précision réalisée par les méthodes de calcul et des progrès obtenus en métallurgie. Mais il faut reconnaître que les conditions de son fonctionnement sont autres que celles de la machine à vapeur. Dans les moteurs à quatre temps et à explosion, aujourd'hui seuls en vogue, puisque les moteurs à combustion sont encore à créer, l'action impulsive du mélange tonnant est vive, très énergique, voire même brutale; il suffit de considérer un diagramme pour s'en convaincre. La pression explosive peut atteindre 36 kg dans un moteur alimenté de gaz de ville, sous une compression préalable de 7,5 kg; dans le puissant moteur Cockerill-Delamare, marchant au gaz de haut fourneau, avec 9,5 kg de compression, la pression atteint quelquefois 18 kg, ce qui correspond à un effort total de 238 914 kg sur le piston.

Ces poussées violentes constituent assurément une épreuve pour les mécanismes qui les subissent et les transmettent; mais on peut dire qu'elles sont prévues, et que tout est calculé en vue d'y résister. Par contre, un allumage prématuré du mélange tonnant développera sur le piston une contre-pression formidable, dont les effets peuvent dépasser les prévisions du mécanicien et la limite de résistance de l'arbre coudé; de fréquentes ruptures de vilebrequins ont autrefois jeté un profond discrédit sur le moteur à gaz. Ces accidents ne se sont guère répétés que pour certains moteurs et certains constructeurs; mais la critique ne fait pas ces distinctions et la concurrence n'est jamais indulgente; elle a conclu trop sévèrement du particulier à l'espèce.

La réfrigération, ou du moins le rafraîchisssement des soupapes d'échappement et des culasses de cylindre, voire même des pistons, inutile pour les petits moteurs, s'impose pour les puissantes machines à gaz; quelques ingénieurs ne s'en sont pas rendu compte dès le début, et ils ont fait à cet égard une douloureuse et coûteuse école. Le surmenage aggravait encore le danger, et les accidents ont été plus nombreux pour des moteurs auxquels on imposait un travail excessif ou trop prolongé.

Le générateur de gaz pauvre est, par contre, un appareil qui est moins sujet à avaries qu'une chaudière à vapeur, et il est en tout cas absolument inexplosible. On a observé, dans de très rares circonstances, des retours de pression vers les cloches de gazomètre, et j'en connais deux cas; mais l'un avait été causé par une imprudence, l'autre par une rentrée d'air accidentelle dans une canalisation défectueuse ; ni l'un ni l'autre n'ont, d'ailleurs, entraîné de conséquences graves.

On a fait état, contre les gaz pauvres, de grippements de cylindres occasionnés par des entraînements de poussières, d'engorgements de soupapes, produits par des dépôts de goudrons, et d'accidents analogues ; des installations faites dans des conditions regrettables

***

ont, en effet, dû être reprises par les fournisseurs, et la chose a été complaisamment annoncée *urbi et orbi*; il paraît que c'est de bonne guerre. On pourrait dire, il est vrai, que les gaziers avaient escompté le succès avec trop peu de discrétion, qu'ils avaient promis de trop merveilleux résultats, et qu'en somme leur réclame avait été si bruyante qu'elle justifiait les commentaires sévères de la partie adverse. La cause du moteur à gaz n'a, en effet, pas besoin d'être plaidée avec fracas; il lui suffit d'un modeste exposé des faits.

La sécurité du fonctionnement du moteur à gaz a donc été moindre jusqu'ici que celle de la machine à vapeur; on ne peut pas le méconnaître. Mais l'expérience a été profitable, et les insuccès du passé porteront leurs fruits : si tous les constructeurs avaient développé progressivement la puissance des moteurs, en consolidant lentement les résultats acquis, s'ils n'avaient pas pris des engagements imprudents, s'ils avaient toujours étudié avec soin leurs installations, s'ils n'avaient pas surmené leurs moteurs, s'ils avaient épuré suffisamment les gaz, si l'on n'avait pas omis certaines précautions particulières, quand on acceptait d'employer des charbons déterminés ; si, en un mot, on n'avait pas tenté d'aventures, l'histoire des moteurs à gaz n'aurait pas eu à enregistrer des défaites qui arrêtent encore son essor. Ces règles de prudence ont été observées par des constructeurs mieux avisés et moins audacieux : c'est ainsi qu'ont été montées certaines usines que nous connaissons, qui marchent depuis près de dix ans sans avoir eu un seul accident grave, ni aucune interruption de fonctionnement. Des services publics importants, qui ne tolèrent aucun arrêt tels que des éclairages de villes (il faudrait en citer plus de cent en France, en Allemagne, en Angleterre, en Espagne) ; des stations de tramways (Zurich, Lausanne, Poitiers, Orléans, Cassel, Tunis, etc.), des élévations d'eau (Bâle, Laval, Duren, Coblence, Munster, Birmingham, Montgoméry, etc.), ont pu être desservis dans des conditions parfaites, sans aucune défaillance, par des groupes de gazogènes et moteurs. Des minoteries, en très grand nombre, des filatures, des imprimeries, des industries chimiques, des fabriques de glace sont actionnées aux gaz pauvres. MM. Pierson nous ont signalé leur installation des glacières de la Briche où les appareils fonctionnent huit mois de l'année, vingt-quatre heures par jour, avec un seul arrêt d'une demi-heure, nécessité par la visite et le graissage des organes; un moteur de 140 chevaux a même tourné pendant quatre mois et demi consécutifs, soit 2 880 heures de suite, un raccourcissement de courroie ayant seulement provoqué un arrêt de quarante-cinq minutes; la production de glace est ressortie à 19 kg par kilogramme de charbon, ce qui est remarquable.

Faut-il multiplier ces citations ?

Cela nous paraît inutile.

Ajoutons pourtant que les moteurs à gaz, dont le rendement thermique et organique est aussi élevé pour des unités de 12 que de 100 chevaux, se prêtent excellemment à la division du travail, ainsi qu'à la constitution d'éléments de secours et de rechange, qui assurent des garanties d'un ordre particulier, et permettent de proportionner constamment la production du travail à sa demande. C'est un dernier élément à prendre en considération, car il contribue à la sécurité et au bon fonctionnement des installations.

(*A suivre.*)

Aimé Witz.

# ANALYSE ÉLECTROLYTIQUE

Depuis un certain temps, la littérature chimique est assez pauvre en travaux sur l'analyse électrolytique ; cela tient vraisemblablement à ce que l'on a épuisé la plupart des sujets susceptibles de fournir des méthodes simples et pratiques avec les connaissances actuelles. On trouve encore, cependant, quelques applications spéciales et des procédés de dosage mixtes ou indirectes dans lesquels l'électrolyse joue un rôle important.

Au premier genre appartient le

***Dosage du cuivre contenu dans le fer,*** par **H. Koch.** (*Zeits. für anal. Chem.* 1902. p. 105).

Lorsque que l'on dissout dans l'acide sulfurique dilué des fers renfermant un peu de cuivre, la totalité de ce dernier métal reste dans le résidu insoluble lequel sera relativement riche en cuivre et se prêtera facilement au dosage électrolytique.

Vu la faible teneur du métal en cuivre, l'auteur conseille d'opérer sur 100 gr de fer en copeaux que l'on dissout à l'aide de 400 cm³ d'acide sulfurique à 30° B. ajoutés en deux fois, le vase étant chauffé après l'addition de la seconde moitié. Avant de laisser refroidir, il convient d'ajouter un demi-litre d'eau, pour éviter la cristallisation du sulfate ferreux. Le résidu noir est ensuite recueilli sur un double filtre, lavé, séché et inciné́ré dans un creuset en porcelaine de 100 cm³ de capacité, puis dissous dans quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique fumant. On évapore ensuite à sec avec un peu d'acide sulfurique, on reprend les sels avec environ 20 cm³ d'eau et autant d'acide azotique exempt de chlore de $d = 1,2$, enfin l'on filtre dans un gobelet de 150 cm³ où l'on dilue le liquide à 120 cm³. — Après addition de quelques gouttes d'une solution d'acide oxalique à 1/20, on soumet le liquide à l'électrolyse.

L'électrode positive est formée d'une spirale de platine de 1,3 mm placée sur le fond du vase ; la cathode se compose d'un cylindre en feuille de platine. $D. N._{100} = 0,094$. — Force électromotrice de 4 éléments de Meidinger en tension, (soit + 4,32 volts) (¹). Durée neuf à dix heures.

Quand il s'agit d'analyser de la fonte grise, le résidu insoluble riche en graphite retient une certaine quantité de fer. Il est nécessaire, après la filtration, de le faire retomber dans le gobelet à l'aide de la fiole à jet, et de le traiter à nouveau par 200 cm³ d'acide sulfurique à 30° B. en faisant bouillir pendant une demi-heure. Après cela, on recueille de nouveau sur le filtre qui a déjà servi et l'on achève comme précédemment.

Koch fait observer qu'il est impossible d'attaquer le fer par l'acide chlorhydrique, une partie seulement du cuivre restant insoluble dans ce cas, le reste passant dans la dissolution et se trouvant perdu pour l'électrolyse.

Dans la seconde classe d'opérations, on peut ranger le

***Dosage de l'iode en présence du brome et du chlore,*** étudié par **Erich Muller** (*Ber. der deuts. chem. Gesell*, 1902. t. I, p. 950.)

A. — En électrolysant une solution neutre ou alcaline d'un iodure, celui-ci se trans-

(¹) On remarquera que cela n'indique pas le voltage aux bornes de la cellule, le circuit étant fermé sur celle-ci, comme cela se fait d'habitude.

forme en iodate, et il n'y a pas d'iode mis en liberté comme dans le cas d'une solution acide. — Si l'on mélange ensuite cette liqueur avec de l'iodure et de l'acide sulfurique, l'acide iodique et l'acide iodhydrique se décomposent mutuellement, et l'on peut titrer l'iode par l'hyposulfite de sodium. Le 1/6 de cet iode total correspond à l'iodate, ce qui est un avantage pour l'exactitude du dosage.

Pour que l'opération réussisse, certaines conditions sont nécessaires :

1° Foerster a montré que l'iodate formé se retransforme facilement en iodure : mais E. Muller a trouvé que pour empêcher cette réduction, il suffit d'ajouter une petite quantité d'un chromate soluble, 1 à 2 cg de chromate de potassium pour 100 cm³ de solution. (Les chromates réagissant sur les iodures en présence d'acide sulfurique, avec séparation d'iode, on retranchera de la quantité totale d'iode celle qui correspond au chromate ajouté, quand on fera le titrage final.)

2° Dans le but d'éviter cette réduction, il est également avantageux d'opérer avec une densité de courant aussi forte que possible sur la cathode. L'auteur emploie un fil de platine poli de 10 cm de long et de 1/2 mm d'épaisseur, tordu en hélice.

3° Avec les tensions de courant employées (1,6 volt environ) il ne se produit pas de périodate.

Avec une anode en feuille de platine polie, la transformation de l'iodure en iodate n'est pas complète après une durée de plusieurs jours, même avec une tension de 2 volts. Il en est autrement si l'on emploie une feuille de platine *platinée* d'après le procédé de Lummer et Kurlbaum. E. Muller fait usage d'une anode dont chaque face a 14 cm² et platine ses faces avec un courant de un ampère pendant une minute et demie. Cette opération doit être répétée avant chaque analyse, la feuille devenant peu à peu inactive; on peut aussi prendre celle-ci comme anode dans de l'acide sulfurique dilué et faire passer un courant de *un* ampère pendant deux minutes. Le platine retrouve son activité.

La fin de la réaction se reconnaît facilement en faisant tomber un essai du liquide dans un tube contenant un peu d'acide sulfurique dilué et de l'empois d'amidon ; la liqueur doit rester incolore. A partir de ce moment, il est bon de laisser le courant agir encore pendant un certain temps. (Il va sans dire que tous les réactifs employés ne doivent pas mettre d'iode en liberté en présence d'iodure de potassium.)

4° Il est nécessaire d'immerger l'anode totalement dans la liqueur, afin d'éviter la volatilisation de l'iode. C'est pour ce motif aussi que l'auteur alcalinise légèrement ses solutions ; il prend de plus la précaution de faire passer la tige de son anode dans un tube de verre fermé sur le métal par fusion, et enfonce le tout dans le bain de manière à ce que le verre se trouve mouillé par le liquide.

5° La solution en expérience ne doit pas renfermer de terres alcalines, les hydrates de ces bases se déposant sur la cathode et opposant une forte résistance au passage du courant.

B. — La séparation de l'iode d'avec les autres halogènes repose sur ce que la tension de décomposition des iodures est inférieure à celle qui est nécessaire pour décomposer les bromures et les chlorures. En appliquant la loi de Nernst, l'auteur trouve 1,32 volt pour les iodures et de 1,79 volt pour les bromures. En fait, ses expériences ont montré que, dans les conditions où il se place, avec une différence de potentiel aux bornes de 1,6 volt, l'iodure se transforme intégralement en iodate, tandis que les bromures ne fournissent ni hypobromites, ni bromates ; il en est de même, *a fortiori* des chlorures.

Les résultats cités comme exemples sont satisfaisants ; les opérations avaient une durée

de vingt à vingt-deux heures pour, 0,1156 gr d'iode seul et 0,01158 gr en présence de brome ou de chlore.

C. — E. Muller ajoute, en terminant, qu'il n'est malheureusement pas possible de séparer le brome du chlore avec autant d'exactitude que pour l'iode.

G. Arth.
Directeur de l'Institut chimique de Nancy.

# LE MOTEUR D'INDUCTION ASYNCHRONE SANS DÉPHASAGE(1)

M. Heyland présente dans le n° 12 de *L'Éclairage Électrique* quelques observations dont l'examen ne sera pas sans intérêt (2).

Tout d'abord, nous nous demandons : Est-ce que le moteur ayant fait l'objet de la conférence de Görges au Congrès de Francfort et publié en 1891 dans la *Elektrotechnische*

(1) Voir à ce propos, dans *L'Éclairage Électrique :* M. Leblanc, sur les propriétés des anneaux à collecteur, t. XXIX, p. 113, 26 octobre 1901 ; M. Latour, idem, t. XXIX, p. 294, 23 novembre 1901 ; A. Heyland, idem, p. 328 et clxxii, 30 novembre et 28 décembre 1901 ; J. B., idem, p. cxiv, 30 novembre 1901 ; H. Poincaré, idem, t. XXX, p. 78 et 301, 18 janvier et 1er mars 1902 ; A. Heyland, moteur ou générateur asynchrone sans déphasage, t. XXIX, p. 117, 26 octobre 1901 ; le moteur d'induction asynchrone sans déphasage, t. XXX, p. 419, 22 mars 1902 ; premiers résultats d'essais du moteur asynchrone compensé, t. XXXI, p. 34, 5 avril 1902 ; M. Latour, alternateurs à collecteur, t. XXXI, p. 50, 12 avril 1902.

(2) Cet article était déjà composé quand a paru dans le numéro 15 de *L'Éclairage Électrique*, sous la signature de M. Latour, un autre article dans lequel ce dernier conteste l'identité des deux moteurs, malgré la concordance absolue de la figure de son moteur-shunt avec l'analogue du brevet allemand n° 61951. Il admet en effet que dans le moteur de M. Görges la section des conducteurs du stator et celle du rotor sont égales l'une à l'autre, même lorsqu'on fait le montage en dérivation, et que conséquemment l'induit — pour ne pas brûler en cas de synchronisme — doit avoir la grandeur d'un induit ordinaire de 5 000 ou 10 000 volts. En dehors de ce fait qu'il ne pourrait absolument pas servir pour des buts pratiques, il s'ensuit donc qu'il ne serait pas non plus un moteur-shunt dans le sens propre du mot, mais bien seulement un moteur-série commuté.

Cette supposition, cependant, n'est fondée sur rien ; ni dans la dissertation de M. Görges, ni dans la demande du brevet allemand indiquée plus haut, il n'est fait mention de quelque chose de semblable, et par le fait même, la raison principale de la prétendue inutilité du moteur-shunt de M. Görges tombe. Mais en supposant même que la section des conducteurs des deux parties soit réellement égale, rien ne serait assurément plus simple ni plus naturel que d'intercaler devant le rotor un transformateur pour abaisser la tension. Ou bien faut-il supposer réellement que M. Görges, ou tout autre lecteur de l'article de ce dernier et familiarisé en quelque sorte avec l'électrotechnique, ne serait pas arrivé lui-même à cette idée simple, et au lieu de cela aurait construit un induit de 10 000 volts ? Assurément non ! Mais l'emploi d'un enroulement simple sur le rotor, au lieu d'un transformateur (comme le fait M. Latour), ne peut pas plus être regardé comme une invention, et ce d'autant plus que l'avantage d'un enroulement de l'espèce — qui comporte nécessairement de nombreux segments de commutateurs — devrait être très problématique comparé à l'emploi d'un transformateur.

Il est vrai que le mot « Nebenschlussmotor » (moteur-shunt) n'est pas mentionné par M. Görges ; il est bon de considérer toutefois que l'article a déjà paru il y a plus de 11 ans, époque où le mot était encore soit pas assez connu, soit d'un emploi non suffisamment courant, et il est probable que c'est pour ce motif que M. Görges s'est arrêté à l'expression plus simple de « Parallelschaltung beider Ringe » (montage en dérivation des deux anneaux). Dans la même demande de brevet, on trouve expliqué, par exemple « Drehstrom » (courant triphasé) par l'expression « Der Phase nach gegeneinander verschobene Wechselstrome gleicher Zeitabschnitte » (courants alternatifs d'intervalles de temps égaux décalés l'un par rapport à l'autre d'après la phase), explication qui serait probablement superflue maintenant. D'ailleurs, cette expression n'exclut nullement l'idée d'un moteur-shunt, puisqu'il va de soi que dans chaque moteur-shunt les deux parties sont montées en dérivation ; par contre, un autre passage de l'article de M. Görges, savoir que « dans le deuxième groupement, l'*anneau fixe* est alimenté par le *courant principal non bifurqué,* tandis que l'*anneau tournant* est traversé par les *courants bifurqués* », indique clairement un moteur-shunt.

M. Latour voit une autre preuve de la différence qui caractérise les deux moteurs dans ce fait que le moteur de M. Görges pouvait marcher aussi en arrière, tandis que son moteur pourrait marcher *seulement* dans le sens du

*Zeitschrift*, page 701, est bien réellement un moteur de conduction ordinaire, tel que nous

---

champ tournant ; il prétend même que le moteur de M. Görges, précisément parce qu'il marchait en arrière, ne pourrait pas être à même de marcher dans le sens du champ tournant, et il arrive à ce résultat par l'équation

$$\omega_1 = \omega \frac{1 + 2a\cos\theta + a^2}{1 + a\cos\theta}$$

dans laquelle $\omega_1$ désigne la vitesse angulaire du rotor, $\omega$ la vitesse angulaire du champ tournant, $a$ le rapport du champ du stator au champ du rotor, $\theta$ l'angle entre les deux champs.

Quelque intéressante que puisse être en soi cette équation de M. Latour, il n'en est pas moins vrai que les déductions que ce dernier en tire ne sont guère solides, car, ainsi qu'il le dit lui-même, cette équation n'est exacte que pour la marche anti-inductrice du moteur; si donc le moteur marchait en arrière sans induction, il ne pourrait pas non plus, d'après cette équation, marcher en avant sans induction. Il est vrai toutefois que M. Görges ne prétend pas du tout que le moteur travaille sans induction dans tous les sens ; il dit plutôt que la formation des étincelles, et par le fait même aussi l'induction, ne disparait théoriquement qu'à une vitesse tout à fait déterminée ; qu'il est donc bien possible que le moteur-shunt de M. Görges, bien que marchant sans décalage de phase au synchronisme, pouvait néanmoins marcher aussi en arrière, quoique avec décalage de phase ou avec projection d'étincelles.

Mais même la marche simultanée sans phase pour l'avant et l'arrière n'est pas impossible d'après cette équation, car sans rien changer à l'induit lui-même, nous pouvons modifier à volonté, à l'aide de résistances ou de transformateurs, la valeur de $a$, c'est-à-dire le rapport des tours primaires aux tours secondaires de l'induit, tout à fait comme dans un moteur en série, et obtenir ainsi même une charge sans phase à différentes vitesses.

Malheureusement, M. Latour n'a pas donné la démonstration mathématique de l'équation ci-dessus, et c'est pourquoi il est possible qu'elle détermine aussi le sens dans lequel le moteur démarre ; mais le fait que son moteur peut marcher *seulement* dans le sens du champ tournant, et le moteur de M. Görges *également* en arrière, ne pourrait pas prouver encore que les deux moteurs diffèrent essentiellement l'un de l'autre, comme le dit M. Latour. Car cela prouverait seulement que celui-ci a choisi son excitation du champ de telle sorte que $a$ soit plus petit que 1 ; toutefois, cette valeur de $a$ n'est absolument pas propre au moteur lui-même, mais est susceptible d'être modifiée par des moyens extérieurs (résistances, transformateurs), comme dit plus haut. Sinon on pourrait assurément considérer, par exemple deux moteurs-shunt à courant continu — dont l'un serait pourvu d'un champ réversible et réglable et l'autre d'un champ invariable — également comme des moteurs n'appartenant pas du tout à une classe, le dernier encore le meilleur.

Il n'est pas possible non plus de comprendre pourquoi on devrait regarder l'essai de M. Latour comme un cas général et celui de M. Görges, par contre, comme un cas spécial ? Car le problème à résoudre, ainsi que les moyens dans ce but, ont été reconnus entièrement par M. Görges. Il a tout d'abord précisé comme suit le problème en question :

1° *La force contre-électromotrice engendrée dans le moteur doit avoir la même période que l'intensité de courant ;*

2° *Le décalage de phase entre l'intensité de courant et la force contre-électromotrice doit être aussi faible que possible.*

Il indique ensuite les moyens et reconnait très justement *l'importance du commutateur à courant continu dans les moteurs à courant alternatif d'une manière générale dans ce fait qu'il rend indépendante de la vitesse de rotation de l'induit la période de la force électromotrice induite ;* il reconnait en outre que *la force électromotrice dans l'induit est proportionnelle à la différence de vitesse et qu'elle disparait, ainsi que la projection des étincelles, au synchronisme*, et ce d'une façon tout à fait indépendante du fait que l'induit soit monté en dérivation ou en série avec le stator. Moyen et but sont donc d'un caractère si général et exprimés si clairement qu'il ne reste vraiment rien à désirer et qu'ils ne pourraient non plus être mieux exprimés dans le travail de M. Latour.

Si par contre ce dernier a fait des essais avec un stator non excité, et M. Görges avec un stator excité, on pourrait, inversement, regarder l'essai de M. Latour comme un cas spécial et celui de M. Görges comme le cas général, et ce, précisément en vertu de l'équation de M. Latour. Car, dans le cas d'un stator non excité, on a $a = 0$, donc $\omega_1 = \omega$ pour toute autre position des balais ; par contre, dans un stator excité à la façon de M. Görges, $a$ peut avoir en général toute valeur positive voulue, c'est-à-dire que $\omega_1$ peut être tout à fait différent de $\omega$.

Pour terminer, je mentionnerai encore que, dans l'équation ci-dessus, il s'est glissé une erreur de signe. En effet, dans le moteur de M. Görges, on avait à marche synchrone et sans étincelles :

$$a = \frac{640}{1440} = 0{,}444 \qquad \theta = 60\text{-}66^\circ. \qquad \text{Donc} \qquad \cos\theta = +a.$$

L'équation en question devrait donc être ainsi posée :

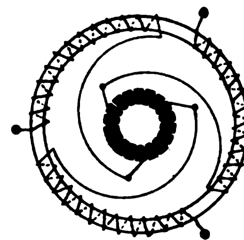
$$\omega_1 = \omega \frac{1 - 2a\cos\theta + a^2}{1 - a\cos\theta}$$

Etant donnée l'importance de la chose, la démonstration mathématique de cette équation serait en tout cas fort désirable.

M. Osnos.

le connaissons par la bibliographie ? Une recherche attentive doit conduire à répondre négativement à cette question. Car, ainsi qu'on le sait, les moteurs de conduction travaillent avec un décalage de phase encore bien plus grand que les moteurs d'induction ordinaires ; la force électromotrice induite dans l'armature de semblables moteurs ne peut disparaître dans aucune position de balais, et la formation des étincelles au commutateur exerce une action destructive (v. Steinmetz *Alternating Current Phenomena*, page 370, 3e édition). Par contre, le moteur Görges marchait, lors du synchronisme, sans décalage de phase, sans étincelles et sans force électromotrice dans l'armature.

Il s'ensuit qu'il n'est pas identique, comme le dit M. Heyland, avec le moteur à conduction que l'on sait, mais qu'il en diffère essentiellement, et que pour ce motif il ne saurait être appelé non plus moteur de conduction.


Fig. 1.

Mais qu'est-ce qui occasionne la différence de principe des deux dispositions ? La réponse est facile si l'on considère attentivement les passages y relatifs de la bibliographie.

Le moteur Görges (fig. 1) [1] possède une carcasse dans le genre des moteurs d'induction ordinaires, c'est-à-dire un anneau de fer uni ou denté. Si donc l'on y amène du courant triphasé, il s'y produit naturellement un champ tournant, et la force électromotrice effective de l'armature est (d'après Görges)

$$E_i = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} p_i M_i (n_0 - n_i) 10^{-8}$$

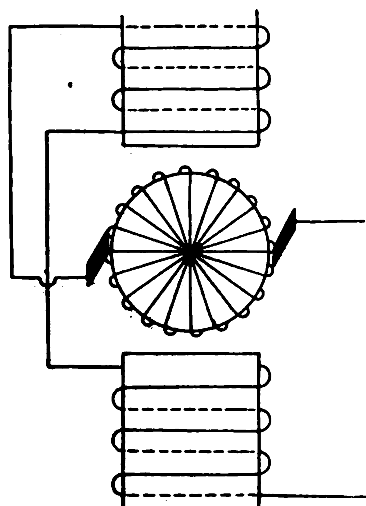
dans laquelle

$p_i$ représente le nombre total des spires (armature en anneau) ;

$M_i$ représente le nombre de lignes de force passant par la section ;

$n_0$ — la fréquence du courant alternatif ;

$n_i$ — le nombre de tours par seconde de l'armature bipolaire.


Fig. 2.

Cette force électromotrice est donc, comme dans un moteur d'induction ordinaire, tout à fait proportionnelle à *la différence de vitesse* et disparaît par suite avec le synchronisme.

Il en est tout autrement dans le moteur de conduction. Ainsi qu'on peut le voir à la figure 2, tirée de l'ouvrage de Steinmetz, les pôles sont marqués, la carcasse inductrice est donc du genre des machines à courant continu, et pour ce motif *il ne peut se former aucun champ tournant.* Les mauvaises propriétés mentionnées plus haut des moteurs de conduction, savoir la production d'étincelles à action destructive et le mauvais facteur de puissance, prouvent que cette forme de pôle n'est nullement accidentelle, mais bien entièrement propre à ces moteurs. S'il n'en était pas ainsi, par contre, ces désavantages seraient également impossibles, comme le montre le moteur de Görges.

Mais toute la théorie des moteurs de conduction prouve aussi qu'il ne se produit dans

(1) Sur cette figure se trouve indiqué, il est vrai, un moteur en série ; mais en réalité. M. Görges mentionne qu'on peut arriver au même résultat avec un moteur shunt.

ces derniers qu'un champ *oscillant*. Car d'après Steinmetz, la force électromotrice de l'armature de semblables machines est :

$$E = 4 n_1 N_1 \Phi 10^{-8}$$

dans laquelle

$n_1$ représente le nombre de spires en série entre les balais ;

$\Phi$ — le flux par pôle ;

$N_1$ — le nombre de tours de l'armature par seconde,

c'est-à-dire qu'elle est directement proportionnelle au *nombre de tours*, ce qui montre d'une part qu'un axe magnétique immobile existe dans l'espace, et d'autre part que la force électromotrice, de même que le décalage de phase, ne peut pas disparaître.

Par ce qui précède, je crois avoir prouvé que le moteur inventé par Görges en 1891 n'appartient pas à la classe des moteurs de conduction connus jusqu'ici.

Mais alors, dans quelle classe des moteurs à courants alternatifs faut-il ranger le moteur de Görges ? M. Heyland prétend que le propre d'un moteur d'induction c'est l'aptitude qu'il possède de pouvoir marcher sans prise de courant dans le rotor. Mais comme le moteur de Görges n'a pas cette faculté, il ne saurait être nullement comparé à son moteur d'induction. Pour autant que je sache, toutefois, ce caractère distinctif d'un moteur d'induction a été relevé d'*une manière toute nouvelle* par Heyland lui-même, et il est invraisemblable qu'il ait été admis par d'autres spécialistes, car jusqu'à présent on a toujours compris sous le nom de moteurs d'induction les moteurs à courant alternatif à nombre de tours asynchrone. C'est ainsi, par exemple, que Steinmetz (*Alternating Current*, page 354), dit que le moteur à répulsion (ne marchant pas non plus sans balais) est un moteur à induction. Lors de sa première publication, Heyland a même désigné son invention comme étant *seulement un moteur asynchrone* sans décalage de phases. On a donc identifié en quelque sorte les moteurs d'induction avec les moteurs asynchrones, et comme il est hors de doute que le moteur Görges est un moteur asynchrone, il est en même temps un moteur d'induction.

Il est du reste complètement inexplicable que le *caractère distinctif* tout à fait *accessoire*, mentionné plus haut, doive être pris comme le caractère distinctif principal d'un moteur d'induction, car on ne peut regarder que comme une question d'importance secondaire le fait qu'un moteur d'induction *peut* marcher ou non avec des balais au rotor ; la question principale, par contre, est celle de savoir si le moteur *marche réellement* avec ou sans balais à l'armature ; mais pendant le service, il est employé aussi des balais dans le moteur Heyland. Il s'ensuit qu'on pourrait, avec autant de raison, donner à ce dernier le nom de moteur de conduction ou contester le nom de moteur d'induction, puisque le moteur d'induction ordinaire marche surtout sans balais à l'armature [1].

La seule différence existant entre le moteur Görges et le moteur publié par Heyland ne réside que dans les résistances entre les segments du commutateur ; ces dernières, toutefois, sont accessoires. Car il importe surtout que le moteur marche sans décalage de phase et sans étincelles pendant le service normal ; mais c'est le cas aussi, comme l'essai de M. Latour l'a confirmé, dans le moteur de Görges.

Cela étant donné, où restent donc les caractères distintifs qui doivent rendre le moteur

[1] D'après Niethammer « Elektromotoren und elektrische arbeitsübertragung », page 67, il faut comprendre par *moteurs à conduction* les moteurs dont l'enroulement fixe et l'enroulement rotatif pourvus d'un commutateur sont directement reliés en communication avec le réseau. D'après cette disposition, il est indubitable que le moteur Heyland appartient aux moteurs d'induction.

de Görges si peu comparable au moteur Heyland ? Il est vrai que Görges mentionne comme désavantage de son moteur les pulsations du champ dans le rotor. Mais d'abord il n'a pas encore été prouvé que le moteur Heyland ne souffre pas également plus ou moins de cet inconvénient ; ensuite, cette pulsation doit être sans importance pratique spéciale ; enfin il est facile d'y porter remède, ainsi que Görges le fait remarquer lui-même, par une plus grande *subdivision des phases*.

M. Heyland est d'avis que dans sa disposition, et malgré la tension oscillante entre les balais, le courant de l'armature doit être néanmoins de grandeur constante, parce que la courbe oscillante (fig. 3) en deux parties, se divise de telle sorte, lors de la présence de résistances sans induction entre les segments de commutateur, que le courant continu passe par l'armature, et le courant alternatif par la résistance sans induction (fig. 4). Ceci

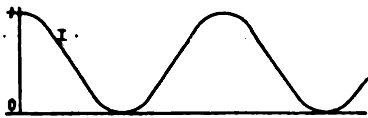


Fig. 3.

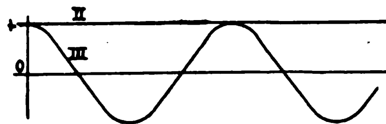


Fig. 4.

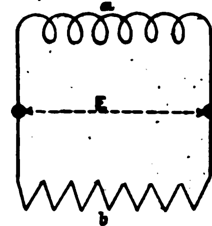


Fig. 5.

n'est pas tout à fait exact, car à une tension donnée E (fig. 5), le courant d'une branche est complètement indépendant du courant dans l'autre branche ; si donc la tension est oscillante, le courant sera également oscillant aussi bien dans l'armature *a* que dans les connexions *b* du commutateur. Il est vrai que la grandeur du courant alternatif dans l'armature sera plus petite que celle du courant continu dans cette même armature, c'est-à-dire que ces grandeurs se comportent comme l'impédance par rapport à la résistance ohmique de l'armature ; mais ceci est indépendant de la présence d'une deuxième branche, des connexions du commutateur par conséquent.

D'un autre côté, les connexions du commutateur présentent les désavantages suivants : si leur résistance est faible, il se produit dans celle-ci une grande perte de courant ; si, par contre, cette résistance est grande, les mêmes connexions diminuent le couple, et par le fait même la puissance du moteur en service normal. Toutefois, le rendement du moteur est influencé défavorablement dans les deux cas.

Il est vrai que Görges n'a plus poursuivi lui-même son invention ; il semble même que celle-ci soit tombée dans l'oubli, mais cela est loin de prouver la nouveauté de l'invention de Heyland. En jetant un coup d'œil sur l'article en question de Görges, on peut se convaincre plutôt que ce dernier *s'est emparé complètement* du problème à résoudre ainsi que des moyens nécessaires dans ce but, et que la première publication de Heyland n'apporte rien d'essentiellement nouveau à l'égard de cet article. La seule chose importante et qui, peut-être, puisse être regardée comme nouvelle dans la publication de Heyland, c'est éventuellement l'emploi du moteur comme générateur ; toutefois, étant donné l'état actuel de la science électrique — dans laquelle le fait le plus connu est que tout moteur, y compris le moteur d'induction, peut travailler comme générateur — le simple renversement du moteur ne saurait guère être regardé comme une invention.

Pourquoi Görges n'a-t-il pas poursuivi son invention ? C'est peut-être Görges lui-même qui pourrait nous donner la meilleure réponse à cette question. Mais il est parfaitement possible qu'il y a onze ans, c'est-à-dire au début de la technique des courants alternatifs,

on ne sentait pas du tout le besoin de moteurs d'induction sans décalage de phase ; ces derniers ne pouvaient faire leurs preuves contre les moteurs d'induction sans commutateur, beaucoup plus simples, et ils ont été oubliés par leur inventeur lui-même. Ce n'est qu'au bout d'une période de développement, et après que l'on a été forcé, par suite de la concurrence sans cesse croissante, de chercher de nouveaux perfectionnements, que ce besoin s'est fait sentir ; toutefois, l'invention elle-même a déjà existé auparavant [1].

Je crois qu'il est indubitable que le moteur Görges est absolument identique avec celui publié dernièrement par M. Latour lui-même. Il semble toutefois que M. Latour n'ait pas connu auparavant le moteur Görges, et que, conséquemment, il soit arrivé d'une manière tout à fait indépendante à ses travaux *excellents en théorie*.

Nos réflexions peuvent se résumer comme suit :

1° Görges a inventé en 1891 un moteur d'induction pratiquement utilisable sans décalage de phase ?

2° Nous sommes redevables à M. Heyland et à M. Latour d'avoir tiré ce moteur de l'oubli.

La question de savoir si le moteur d'induction sans déphasage est à même de vivre vis-à-vis des moteurs sans commutateur, beaucoup plus simples, et s'il trouvera un grand emploi dans la pratique ; cette question, disons-nous, est tout autre, et il est impossible d'y répondre avec certitude actuellement. Le fait que de nombreuses maisons de premier ordre s'occupent de l'exécution de ce moteur ne change rien à la chose. Cela s'explique facilement par le désir de parvenir à un but aussi séduisant. Mais il n'est pas dit du tout que ce but sera atteint réellement sans amener de désavantages sous d'autres rapports. En effet, ce qui importe en fin de compte dans un moteur, c'est le rendement et la puissance, et à ce point de vue on ne sait jusqu'ici absolument rien ; tout au moins, l'essai fait par Heyland avec un moteur d'induction de la Vereinigte Elektricitäts-Gesellschaft de Vienne et publié par lui ne laisse rien entrevoir de ce qui pourrait résoudre les questions si importantes telles que le rendement, la puissance et la surcharge.

Par contre, on peut admettre comme vraisemblables, dans le moteur Heyland, les désavantages suivants :

1° Par les résistances entre les segments de commutateur, et ce, *principalement dans plusieurs segments par pôle*, le rendement et la capacité de surcharge doivent être diminués ;

2° Par le commutateur et les résistances, le moteur devient assez compliqué et cher.

Il s'ensuit donc qu'aussi longtemps qu'il n'existera pas de données complètes sur les essais et la construction de ce moteur, on sera tout au moins en droit de douter du succès de ce dernier dans la pratique.

M. Osnos.
Charlottenburg.

(1) Ceci offrirait une analogie complète avec la lampe Nernst, au sujet de laquelle il a été prouvé ultérieurement que la partie essentielle de celle-ci a déjà été inventée par Jablockhoff, et que, seule, l'*époque* où vivait ce dernier *n'était pas encore mûre* pour cette invention.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## ACCUMULATEURS

***Procédé pour augmenter la capacité des accumulateurs,*** par **C. Heim**, de Hanovre. — *Elektrotechnische-Zeitschrift*, t. XXII, p. 811, 1901.

L'augmentation de la capacité avec la température a été observée antérieurement, par Gladstone et Hibbert en 1892, et par Schoop [1], qui trouvait une augmentation de capacité de 1 p. 100 environ par degré centigrade.

L'auteur a entrepris, en janvier et février 1900, des recherches sur un élément de l'Accumulatoren-Fabrik A. G., du type $ES_3$, ayant une capacité de 69 amp-heures au régime de trois heures. Cet élément renfermait 7 plaques (3 positives et 4 négatives), de dimensions 185 × 170 mm. La surface totale des positives était de 18,9 dm² (obtenue en faisant le produit de la hauteur par la largeur).

La densité de l'acide, mesurée après une décharge normale, atteignait 1,21 à 1,22 à la température 18° C. Antérieurement, l'élément avait déjà effectué 160 décharges et 160 charges. Les essais étaient faits ici aux températures 14, 30 et 45° C.

Plus tard, l'auteur a expérimenté sur 5 gros éléments de la même fabrique, du type $E_{11}$, ayant une capacité de 432 amp-heures à la décharge en trois heures. La densité de l'acide, mesurée après la décharge normale, atteignait 1,16 à 15° C. On employait ici les températures 12 et 45° C.

L'échauffement des éléments était obtenu à l'aide d'un serpentin en plomb placé au dessous des plaques et traversé par un courant d'eau chaude dont on réglait la vitesse [2]. Pour le refroidissement, le serpentin était placé au-dessus des plaques et traversé par un courant d'eau froide. Une enveloppe en feutre protégeait l'élément du rayonnement extérieur. Dans ces conditions, on obtenait la même température pour tous les points situés à la même hauteur. Cependant, entre les parties supérieure et inférieure des plaques régnait toujours une petite différence de température : 2 à 3° pour la température 14° C.; 3° pour 30° C. et 5° pour 45° C. La température considérée pendant les essais était celle du milieu de la hauteur des plaques.

Pour les 5 gros éléments, qui étaient montés dans un petit espace, à environ 1,2 m. du sol, l'échauffement s'obtenait à l'aide d'un brûleur à gaz placé sur le sol de cet espace, et dont on réglait l'arrivée de gaz. Pour les basses températures, on ouvrait la fenêtre de ce petit local. Par ce procédé, la température des éléments variait un peu, par suite de l'effet Joule et de la chaleur secondaire; mais les variations extrêmes n'atteignaient que 2° pour les essais à basse température, et 3° pour ceux à température élevée. Comme température, on prenait ici la moyenne des valeurs obtenues pendant l'essai.

Les mesures électriques étaient effectuées à l'aide d'instruments de précision.

Pour l'élément unique, les décharges étaient arrêtées à 1,82 volt, valeur correspondante à la tension minima permise en pratique.

Les premières charges de chaque série d'essais étaient poussées jusqu'à fort dégagement gazeux pour éviter la production de sulfate; la période de dégagement gazeux avait une durée de la moitié environ de la charge principale. Pour les autres charges de la même série, on arrêtait quand on avait obtenu la tension maxima de la première charge, soit

2,70 volts à 14° C
2,58 » à 30° »
2,52 » à 45° »

pour les charges à 32 ampères.

Pour les recherches sur les 5 gros éléments, les décharges étaient arrêtées à 1,80 volt. La tension maxima de charge atteignait

2,76 volts à 13° C
2,58 » à 47° »

*Capacité.* — L'élément unique était essayé aux deux intensités 20 et 32 ampères, correspondant aux densités de courant 1,06 et 1,69 amp. : dm².

Les 5 gros éléments étaient étudiés à l'intensité 140 amp., soit 1,37 amp. : dm².

[1] *Zeitschr. f. Elektrochemie*, t. II, p. 505.

[2] Voir *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 222, 11 mai 1901.

L'élément $ES_3$ donnait dans le cas de l'intensité 20 amp. pour la décharge et la charge.

| | | |
|---|---|---|
| Température. . . . . . | 14° C | 45° C |
| Capacité correspondante. | 71 amp.-h. | 128 amp.-h. |

soit, entre ces limites, une augmentation de 2,6 p. 100 par degré sur la capacité à 14° C.

Avec l'intensité 32 amp., on obtenait

| | | | |
|---|---|---|---|
| Température. . . . . . | 14° C | 30° C | 45° C |
| Capacité correspondante. | 58 | 82 | 112 amp.-h |

L'augmentation atteint ici 3 p. 100 par degré centigrade entre 14 et 45° C.

A l'intensité 140 amp., l'élément $E_{21}$ donnait

| | | |
|---|---|---|
| Température. . . . . . | 11,3° C | 45,0° C |
| Capacité correspondante. | 386 | 735 amp.-h. |

montrant ainsi une augmentation de capacité de 2,7 p. 100 par degré sur la capacité à 11,3° C.

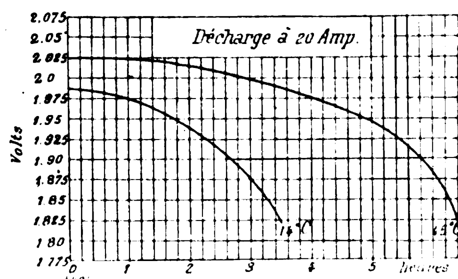



Fig. 1.

Les figures 1 et 2 montrent l'allure des courbes de décharge à 20 et 32 amp. pour les différentes températures.

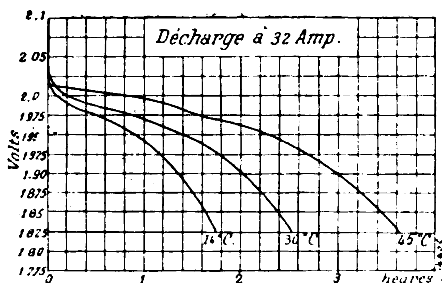



Fig. 2.

Au sujet de l'allure plus élevée des décharges à haute température, il y a lieu de remarquer que la résistance intérieure diminue, tandis que la force électromotrice augmente quand la température croît. Il en résulte que si on arrête les décharges à la même différence de potentiel, la décharge à haute température est plus poussée que celle à température plus basse.

La variation de résistance avec la température peut s'évaluer approximativement en supposant, avec Dolezalek, que la résistance d'un accumulateur est égale à 2 à 3 fois (soit 2,5 en moyenne) la valeur de la résistance de l'acide. Avec l'élément considéré ici, on obtient ainsi

0,0023 ohm à 14° C

et

0,0015 » à 45° »

De telle sorte que la perte en volts dans l'élément atteint

| INTENSITÉ en ampères. | PERTE EN VOLTS | |
|---|---|---|
| | à la temp. 14° C. | à la temp. 45° C. |
| 20 | 0,046 | 0,030 |
| 32 | 0,074 | 0,048 |

Et la différence de perte en volts dans l'élément entre ces deux températures est de

0,016 volt pour 20 ampères

et

0,026 » 32 »

D'autre part, l'augmentation de force électromotrice, pour la concentration considérée ici, est de 0,00025 volt par degré.

La différence des forces électromotrices à 14 et 45° C. devient donc égale à

$$0,00025.31 = 0,0077 \text{ volt}$$

En terminant, à la même différence de potentiel, la décharge dans les deux cas, cette décharge sera plus poussée de

$$0,016 + 0,0077 = 0,024 \text{ volt à 20 ampères}$$

et

$$0,026 + 0,0077 = 0,034 \text{ » à 32 »}$$

pour la température 45° C.

Pour être dans les mêmes conditions dans les deux cas, la décharge à 45° C. étant arrêtée à 1,82 volt, celle à 14° C. aurait dû être poussée jusque

$$1,82 - 0,024 = 1,796 \text{ volt pour 20 ampères}$$

et

$$1{,}82 - 0{,}034 = 1{,}786 \text{ volt pour 32 ampères}$$

Si on extrapole jusqu'à ce point les courbes figures 1 et 2, on trouve que les résultats précédents ne sont pas sensiblement influencés et l'augmentation de capacité par degré devient 2 p. 100 pour 20 amp. et 3 p. 100 pour 32 amp.

*Densité de l'acide.* — L'auteur a étudié les variations de densité sur l'élément $ES_3$ dans les différents cas. Il prélevait pour cela 80 à 100 cm³ d'acide entre les plaques moyennes, dans le milieu de la hauteur et il en déterminait la densité à 18° C., à l'aide d'un aréomètre; les moyennes d'un grand nombre d'expériences sont exprimées dans le tableau suivant :

| INTENSITÉ en ampères. | TEMPÉRATURE en degrés centigrade. | DENSITÉ DE L'ACIDE A 18° C | |
|---|---|---|---|
| | | fin charge. | fin décharge. |
| 32,0 | 14 | 1,238 | 1,224 |
| 32,0 | 45 | 1,246 | 1,219 |
| 20,0 | 14 | 1,241 | 1,215 |
| 20,0 | 45 | 1,246 | 1,209 |

qui montre, ainsi qu'il fallait s'y attendre, que la variation de concentration est plus grande dans le cas de la température plus élevée, la quantité d'électricité débitée étant plus élevée.

A la limite de deux séries d'essais, on obtenait, pour la décharge à 32 amp., 96 amp.-heures à la température 45° C., alors qu'à la charge précédente, effectuée à 14° C. et 32 amp., il n'avait été fourni que 61,9 amp.-heures. De même, après une charge de 76,0 amp.-heures à 14° C., on obtenait à 45° C. une décharge de 108,3 amp.-heures à 20 ampères.

Inversement, après une charge de 128 amp.-heures à 32 ampères et à la température de 45° C., on obtenait seulement une décharge de 65,6 amp.-heures à 14° C.

Une décharge, terminée normalement à 14° C. et ayant donné 52,8 amp,-heures, était continuée après une heure et demie d'arrêt, alors que l'élément était chauffé à 45° C. On obtenait ainsi encore 17,6 amp.-heures, soit 33 p. 100 de la première valeur; alors que, dans les mêmes conditions, l'élément étant resté à 14° C., il n'aurait été obtenu à nouveau que 4,3 amp.-heures, soit 8 p. 100. Ceci prouve qu'il ne s'agit pas, dans le premier cas, d'un rétablissement des plaques.

*Rendement.* — Le rendement en quantité est plus faible avec les éléments chauffés qu'avec les éléments froids; c'est ce que montre le tableau suivant :

| Température en degrés C. | Intensité en ampères. | QUANTITÉ d'électricité en ampères-heure | | Rendement en quantité. | Valeur moyenne |
|---|---|---|---|---|---|
| | | décharge | charge | | |
| 14 | 32,0 | 57,6 | 61,3 | 0,939 | 0,95 |
| 14 | 32,0 | 56,8 | 59,2 | 0,960 | |
| 14 | 32,0 | 57,6 | 60,8 | 0,946 | |
| 45 | 32,0 | 111,2 | 128,0 | 0,868 | 0,86 |
| 45 | 32,0 | 108,8 | 128,0 | 0,850 | |

Avec l'intensité 20 amp., on ne pouvait effectuer deux décharges par jour, mais seulement une après un repos d'une nuit. Les valeurs suivantes ainsi obtenues sont néanmoins comparables.

| Température en degrés C. | Intensité en ampères. | QUANTITÉ d'électricité en ampères-heure | | RENDEMENT en quantité. |
|---|---|---|---|---|
| | | décharge | charge | |
| 14 | 20,0 | 71,0 | 76,0 | 0,935 |
| 45 | 20,0 | 128,0 | 143,0 | 0,895 |

Dans les essais des 5 gros éléments, les décharges avaient également lieu après un repos d'une nuit, ce qui rend le rendement particulièrement faible, ainsi que le montrent les valeurs suivantes.

| Température en degrés C. | Intensité en ampères. | QUANTITÉ d'électricité en ampères-heure | | Rendement en quantité. | Valeur moyenne |
|---|---|---|---|---|---|
| | | décharge | charge | | |
| 12,5 | 140 | 385 | 441 | 0,874 | 0,88 |
| 11,7 | 140 | 387 | 434 | 0,891 | |
| 45,9 | 140 | 735 | 896 | 0,820 | 0,82 |

Pour avoir le rendement en énergie, il faut considérer les tensions moyennes en décharge et en charge. La figure 3 donne l'allure des courbes de charge et de décharge à 32 amp. de l'élément $ES_3$ aux températures 14 et 15° C. On trouve comme valeur moyenne

| TEMPÉRATURE en degrés C. | TENSION MOYENNE, EN VOLTS | | RAPPORT des deux tensions. |
|---|---|---|---|
| | décharge. | charge. | |
| 14 | 1,938 | 2,438 | 0,795 |
| 45 | 1,953 | 2,326 | 0,840 |

D'après ces chiffres, on obtient pour le rendement en énergie :

à 14° C 0,795.0,95 = 0,75
à 45° C 0,840.0,86 = 0,72

Les deux rendements se rapprochent. Des résultats semblables sont donnés avec l'intensité 20 amp et aussi avec les gros éléments.

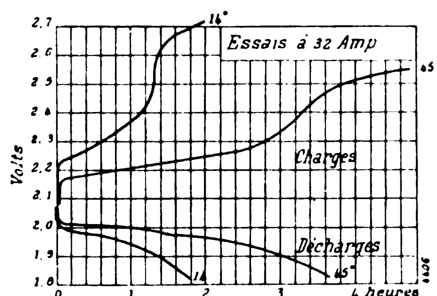



Fig. 3.

Les expériences de l'auteur montrent que l'augmentation de capacité avec la température croît avec la densité du courant.

Les nombres donnés ici ne sont d'ailleurs valables que pour le type essayé. Les plaques positives du type Faure donnent des variations apparemment plus faibles.

*Explication de l'influence de la température.* — On a vu plus haut que l'augmentation constatée de la capacité avec la température n'est pas causée par l'élévation de la conductibilité de l'acide, ni par celle de la force électromotrice.

Dans le cas des décharges normalement usitées, l'utilisation des matières actives, peroxyde et plomb spongieux, est faible par suite d'une incomplète circulation de l'acide. La concentration de l'acide environnant la matière diminue peu à peu, et, avec elle, la tension aux bornes. Cette tension diminue d'autant plus rapidement que la densité du courant est plus élevée, car la quantité d'eau formée pendant l'unité de temps est proportionnelle à celle-ci.

L'échauffement a pour effet d'augmenter la mobilité de l'électrolyte et, par suite, la diffusion, ce qui explique alors l'augmentation de la capacité et de la tension moyenne en décharge, et la diminution de la tension moyenne en charge. On peut dire alors que l'échauffement agit comme une diminution de l'intensité de courant.

*Emploi pratique de l'échauffement.* — L'échauffement des batteries en vue d'augmenter leur capacité ne peut évidemment être employé que si cette élévation de température n'endommage pas les plaques. Les recherches de l'auteur ne donnent pas d'indications suffisantes sur ce sujet, à cause du nombre limité d'essais effectués. Après 25 décharges à température élevée (la plupart à 45° C.), l'auteur ne constate cependant aucune chute anormale de matière active positive ni aucune détérioration des négatives.

En supposant que l'influence de la température soit aussi grande que celle trouvée ici sur la capacité et nulle sur la durée, l'échauffement des batteries est tout indiqué dans les stations centrales d'éclairage, pendant les périodes de grosse consommation, comme en hiver, par exemple.

Mais même dans le cas d'endommagement des plaques par un emploi constant de l'échauffement, celui-ci peut encore être appliqué éventuellement comme secours, lors d'un accident de machine, par exemple.

Le chauffage des batteries peut s'effectuer soit à la vapeur, soit à l'eau chaude de condensation, soit encore à l'aide de foyers.

Dans les stations centrales de tramways, l'élévation de la température des batteries-tampons est tout indiquée les jours de plus grand trafic, comme les dimanches et jours de fête. On a vu plus haut, en effet, que la meilleure circulation de l'acide par les températures élevées cause une chute moindre de tension, à égale densité de courant. La batterie se trouve donc en état de régler de bien plus grandes variations que lorsqu'elle est froide.

Dans le cas des batteries d'automobiles, l'échauffement permettrait une diminution de poids et d'encombrement de la batterie ; mais ici le procédé de chauffage n'est pas simple ; il faut employer des brûleurs à pétrole ou à alcool. Le courant de décharge, même après un long parcours, ne produit pas un échauffement

suffisant, malgré le rapprochement des éléments. Ainsi, après un parcours de 50 km en cinq heures, la température moyenne des éléments atteignait 30,5° C., pour une température extérieure de 23,6° C.; soit un accroissement de 7° seulement.

Dans les exploitations mixtes de tramways, avec accumulateurs, l'augmentation de température en fonctionnement normal peut être beaucoup plus grande et atteindre 25 à 30°.

L'Accumulatoren-Fabrik A.-G., de Berlin et Hagen, a constaté que l'échauffement continuel ou excessif avait pour résultat une usure prématurée des plaques. Elle ne l'emploie alors qu'exceptionnellement et dans les locaux de batteries qui peuvent être soumis aux grands froids, pour éviter la baisse de capacité.

Enfin, dans des essais effectués dans son laboratoire, cette dernière société n'a constaté qu'une augmentation de capacité de 1 p. 100 par degré, en moyenne, valeur beaucoup plus faible que celle trouvée par l'auteur. L. Jumau.

***L'acide sulfurique dans l'accumulateur au plomb,*** par le Dr A. Pfaff. *Centralblatt f. Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 73 et 173.

On sait que la densité de l'acide influe sur tous les facteurs de fonctionnement de l'accumulateur : capacité, rendement, durée, etc. Malgré l'importance évidente de la question, on ne paraît pas encore très fixé sur les avantages et les inconvénients d'une densité déterminée, et les différents constructeurs divergent assez d'opinion à ce sujet, s'il faut en croire les données des différents catalogues. Dans le tableau suivant, l'auteur a résumé les concentrations employées par les différents fabricants.

| CONSTRUCTEUR | ANNÉE | DENSITÉ | DEGRÉ BAUMÉ | $H^2SO^4$ p. 100 | BUT | SYSTÈME |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Accumulatorenwerke Zimmerman et Co | 1899 | 1,142 | 18,0 | 19,85 | m. l. | G |
| Berliner Accumulatorenwerke E. Correns et Co | 1891 | 1,150 | 18,8 | 20.91 | m. | G |
| Accumulatorenfabrik. C.-W. Kayser et Co | 1896 | 1,150 | 18,8 | 20,91 | m. | G |
| » » | 1896 | 1,170 | 21,0 | 23,47 | m. l. | G |
| Accumulatoren-Industrie Dr Lehmann et Mann | 1896 | 1,170 | 21,0 | 23,47 | m. | G |
| Kölner Accumulatorenwerke Gottfried Hagen | 1896 | 1,170 | 21,0 | 23,47 | m. | G |
| Gesellschaft für electrische Unternehmungen | 1899 | 1,170 | 21,0 | 23,47 | t. r. m. | S |
| Bleiwerk Neumühl, Morian et Co | 1896 | 1,170 | 21,0 | 23,47 | m. | G |
| Accumulatorenfabrik A.-G | 1900 | 1,180 | 22,0 | 24,76 | t. r. m. l. | S |
| Accumulatoren-Industrie Dr Lehmann et Mann | 1898 | 1.180 | 22,0 | 24,76 | r. m. | G |
| L.-A. Riedinger A.-G. Augsburg | 1895 | 1,200 | 24,0 | 27,32 | m. l. | M |
| Accumulatorenfabrik A.-G. | 1897 | 1,210 | 25,0 | 28,58 | t. r. m. l. | S |
| Accumulatorenfabrik C.-W. Kayser et Co | 1898 | 1,210 | 25,0 | 28,58 | r. m. | G |
| Accumulatorenwerke Colonia | 1899 | 1,210 | 25,0 | 28,58 | m. | G |
| W.-A. Boese et Co | 1895 | 1,220 | 26,0 | 29,84 | m. l. | M |

Dans ce tableau, on a désigné par *t* les batteries-tampon ; *r*, celles à décharge rapide (1 à 3 heures) ; *m*, à décharge moyenne (3 à 10 heures) ; *l*, à décharge lente (plus de 10 heures). D'autre part, S se rapporte aux plaques à grande surface ; G, aux plaques à à grille, et M, aux plaques à matière.

On constate que certains constructeurs ont augmenté la densité pendant ces dernières années, tandis que d'autres, tels que l' « Accumulatorenfabrik A.-G. », l'ont diminuée. D'une façon générale, les densités varient très irrégulièrement de 18 à 26° B.

Si on considère la résistance intérieure, qui doit être aussi faible que possible dans les batteries-tampon, on trouve qu'il y aurait intérêt à adopter la concentration 31 p. 100 de $SO^4H^2$, ce qui correspond à 26,5° B. D'un autre côté, on sait que la concentration de l'acide diminue pendant la décharge. On devrait donc, dans ces conditions, choisir une concentration fin charge supérieure à 31 p. 100, de façon à obtenir cette valeur comme moyenne pendant la décharge.

La concentration dépendrait donc alors de la capacité demandée à l'élément et de la quantité d'acide qu'il renferme.

Théoriquement, 1 ampère-heure engage 3,85 gr Pb, 4,44 gr $PbO^2$ et 3,65 gr $H^2SO^4$, de sorte que 11,27 gr $SO^4Pb$ et 0,67 gr $H^2O$ disparaissent pendant la charge et apparaissent pendant la décharge.

Si on prend comme exemple un élément de

100 ampères-heures, renfermant 4 000 gr d'acide de densité 1,18, soit 3 388 litres, après le débit des 100 ampères-heure, on aura consommé 365 gr $H^2SO^4$ et produit 67 gr $H^2O$.

A début, les 4 000 gr d'acide renfermaient

$$247{,}6.4 = 990{,}4 \text{ gr. } H^2SO^4$$

et

$$752{,}4.4 = 3009{,}6 \text{ gr. } H^2O$$

A la fin de la décharge, ces quantités sont alors devenues

$$990{,}4 - 365 = 625{,}4 \text{ gr. } H^2SO^4$$

et

$$3009{,}6 + 67 = 3076{,}6 \text{ gr. } H^2O$$

ce qui correspond, pour les 3,388 litres, à la densité de 12°B.

En consultant la courbe de conductibilité de l'acide sulfurique, on trouve que celle-ci a baissé de plus du tiers de sa valeur, en passant de 22 à 12°B.

On peut calculer la quantité d'électrolyte que doit renfermer un élément pour que sa densité varie entre certaines limites. L'auteur a tracé

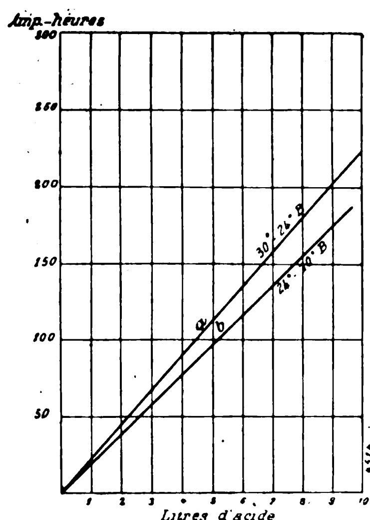



Fig. 1.

dans la figure 1, des courbes représentant la variation de la quantité en litres, en fonction du nombre d'ampères-heure débités pour une variation *a* de 30 à 24°B., et *b*, de 24 à 19°B.

Afin de déterminer si la consommation théorique d'acide sulfurique est atteinte en pratique, l'auteur a entrepris des essais sur un élément renfermant un litre d'acide de densité 1,24 fin charge; les électrodes constituées par une pastille de matière active, comprenaient une positive de 8 mm d'épaisseur et 2 négatives de 6 mm. La surface apparente d'une plaque était de 2,4 dm² et la surface active de 1,7 dm², en ne comptant qu'un côté de la plaque.

L'élément était chargé jusqu'à dégagement gazeux normal, puis on effectuait la décharge, et, toutes les heures, on prenait très exactement la densité du liquide, après avoir pris soin d'insuffler chaque fois une certaine quantité d'air pour bien mélanger l'électrolyte.

La concentration de l'acide dans la masse même de la matière est, on le sait, différente de celle du liquide extérieur; aussi, cette circonstance donne-t-elle lieu à une cause d'erreur que l'on peut éliminer en ne considérant pas les premières heures de la décharge.

Un exemple des mesures effectuées pendant une décharge est donné par le tableau de la page 291.

Si, dans cet essai, on laisse de côté la première heure de décharge, on trouve pour la consommation moyenne 2,694 gr $H^2SO^4$ par ampère-heure.

Un grand nombre de décharges était entrepris sur cet élément, en faisant varier l'intensité de 1 à 5 ampères, ce qui correspondait à une variation de densité de courant de 0,59 à 2,94 ampères : dm² en considérant la surface apparente d'un seul côté.

On prenait la moyenne des valeurs obtenues pour les décharges de même intensité, et on obtenait ainsi les valeurs suivantes :

| INTENSITÉ en ampères | DENSITÉ de courant en amp. : dm² | TEMPS de décharge | CAPACITÉ en ampères-heures | CONSOMMATION de $H^2SO^4$ en grammes par amp.-heure |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,94 | 6 | 30 | 2,560 |
| 4 | 2,35 | 9 | 36 | 2,705 |
| 3 | 1,76 | 14 | 42 | 2,855 |
| 2 | 1,18 | 24 | 48 | 3,083 |
| 1 | 0,59 | 59 | 59 | 3,269 |

Ces valeurs ont servi à tracer la courbe de la figure 2, qui montre que la valeur théorique 3,65 gr n'est pas atteinte dans ces essais, mais que l'on s'en approche pour les faibles inten-

*22° Décharge. I = 4 ampères.*

| TEMPS | AMPÈRES | VOLTS | DENSITÉ | DIFFÉRENCE de densité | $H^2SO^4$ en grammes dans l'électrolyte | CONSOMMATION en grammes de $H^2SO^4$ par heure | par amp.-heure |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. 8,57 | 4,00 | 2,01 | 1,2410 | | 402 | | |
| | | | | 0,0037 | | 7 | 1,75 |
| 9,57 | 4,00 | 2,00 | 1,2373 | | 395 | | |
| | | | | 0,0054 | | 10 | 2,50 |
| 10,57 | 4,00 | 1,99 | 1,2319 | | 385 | | |
| | | | | 0,0059 | | 10 | 2,50 |
| 11,57 | 4,00 | 1,98 | 1,2260 | | 375 | | |
| | | | | 0,0061 | | 11 | 2,75 |
| 12,57 | 4,00 | 1,97 | 1,2199 | | 364 | | |
| | | | | 0,0060 | | 11 | 2,75 |
| 1,57 | 4,00 | 1,95 | 1,2139 | | 353 | | |
| | | | | 0,0060 | | 11 | 2,75 |
| 2,57 | 4,00 | 1,935 | 1,2079 | | 342 | | |
| | | | | 0,0062 | | 11 | 2,75 |
| 3,57 | 4,00 | 1,915 | 1,2017 | | 331 | | |
| | | | | 0,0056 | | 10 | 2,50 |
| 4,57 | 4,00 | 1,89 | 1,1961 | | 321 | | |
| | | | | 0,0062 | | 11 | 2,75 |
| 5,57 | 4,00 | 1,855 | 1,1899 | | 310 | | |
| | | | | 0,0064 | | 12 | 3,00 |
| 6,57 | 4,00 | 1,835 | 1,1835 | | 298 | | |

sités de décharge, pour s'en écarter de plus en plus quand le régime devient plus rapide.

La courbe de la figure 3, tracée également à l'aide des valeurs du précédent tableau, montre la variation de consommation de $H^2SO^4$ par ampère-heure en fonction du temps de décharge.

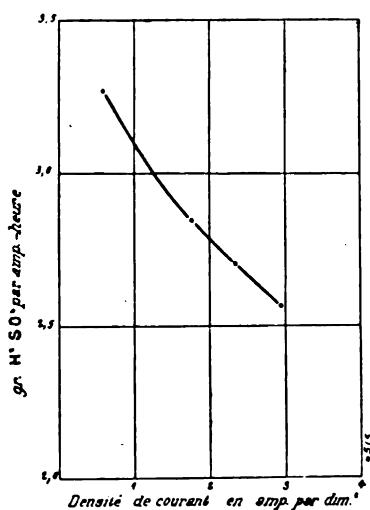



Fig. 2.

Ces chiffres permettent de calculer la quantité d'acide que doit contenir un élément pour ne pas descendre au-dessous d'une certaine concentration. La courbe de la figure 4 montre

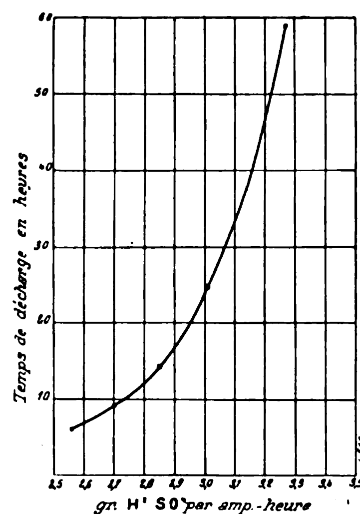



Fig. 3.

quel serait ainsi le volume d'acide à employer à la densité 24°B. fin charge, pour que fin décharge, cette densité ne soit pas inférieure à 18°B., Les valeurs sont données en fonction du

nombre d'ampères-heure que peut débiter l'élément au régime de 10 heures. Elles sont inférieures de plus de 5 p. 100 de ce qu'exigent la plupart des constructeurs.

Sur l'élément décrit ci-dessus, l'auteur a cherché à déterminer la concentration de l'acide dans les pores de la matière active. Il trouva,

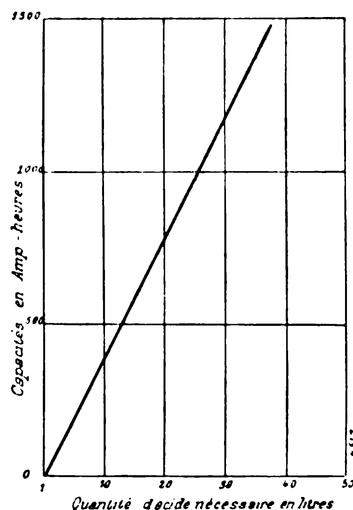



Fig. 4.

comme moyenne de 22 essais, que la matière renferme 11,52 gr $H^2SO^4$ de plus que ce qui correspond à la densité 1,200 de l'acide extérieur. Comme la quantité totale d'acide contenu dans les pores atteint 161 $cm^3$, il en déduit aisément que la concentration de l'acide imprégnant la matière active est de 30,7° B., valeur très supérieure à celle employée par les différents constructeurs.

Il en conclut qu'il ne peut pas y avoir d'inconvénients pour la matière active à adopter pour l'acide extérieur des concentrations supérieures à celles actuellement employées, si on y trouve, d'autre part, des avantages. Il recherche alors, à cet effet, l'influence de la densité de l'acide sur la capacité.

Pour cela, il effectue des essais sur cinq accumulateurs transportables, renfermant chacun 2 positives et trois négatives, et dont la densité d'acide est de 23°B. fin charge, et de 19°B. après une décharge à 5 ampères, donnant 27 ampères-heure. La capacité étant sensiblement la même pour les 5 éléments, on vide l'acide à la fin de la décharge et on le remplace par de l'acide ayant respectivement dans chaque élément la concentration 30, 25, 20, 15 et 10°B. Après 24 heures de repos à l'état déchargé, ces valeurs étaient devenues 26,5, 23,5, 19,5, 16,5 et 12°B., pendant que les forces électromotrices atteignaient 2,15, 2,11, 2,08, 2,06 et 2,03 volts. La courbe de la figure 5 indique la variation de la force électromotrice en fonction de la concentration. A la charge suivante tous les éléments atteignaient la même différence de potentiel 2,70 volts. Des décharges et charges répétées étaient alors effectuées jusqu'à obtention d'un état d'équilibre et des mesures exactes donnaient ensuite les valeurs consignées dans le tableau suivant.

| | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| Densité avant la charge, $a$ en °B. . . . | 24,5 | 22 | 17 | 13 |
| Densité avant la décharge, $b$ en °B. . | 30 | 28 | 22 | 19 |
| Densité moyenne $\frac{a+b}{2}$ en °B . . . | 27,5 | 25 | 19,5 | 16 |
| Temps de charge, en heures. . . . . . | 7,25 | 6,33 | 4,66 | 4.20 |
| Temps de décharge, en heures . . . . | 6,66 | 5,83 | 4,33 | 3,92 |
| Capacité en amp.-heures. . . . . . | 33,3 | 29,25 | 21,7 | 19.8 |
| Diff. de pot. moyenne de charge, en volts. | 2,281 | 2,264 | 2,217 | 2,196 |
| Diff. de pot. moyenne de décharge, en volts. . . . . . . | 1.976 | 1,964 | 1,927 | 1,908 |
| Rendement en amp.-heures. . . . . . | 0,9195 | 0,9210 | 0,9286 | 0,9326 |
| Rendement en watts-heure . . . . . . | 0,7966 | 0,7990 | 0,8070 | 0,8102 |

Dans la figure 6 on a porté les courbes de charge et de décharge de l'élément I, de concentration moyenne 27,5°B., et du même élément II, avant l'introduction de l'acide fort, soit avec la concentration moyenne 21°B. Le temps de charge et de décharge est devenu supérieur de 1 h. 30′, et la tension moyenne en charge et en décharge plus élevée de 0,06 volt environ.

Les tensions moyennes de charge et de décharge de tous les éléments ont été représentées dans la figure 7, la courbe I se rapportant à la charge ; et II, à la décharge. On constate que la première croît plus rapidement que la seconde, de telle sorte que le rendement

en énergie tend à diminuer lorsque la concentration augmente ; mais les différences sont très faibles.

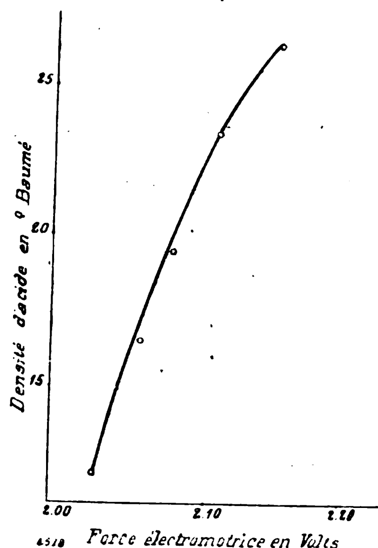



Fig. 5.

Les variations de la capacité en fonction de la densité de l'acide sont exprimées par la courbe de la figure 8, d'après les valeurs du tableau précédent. On voit que la capacité croît considérablement avec la concentration, puisque de

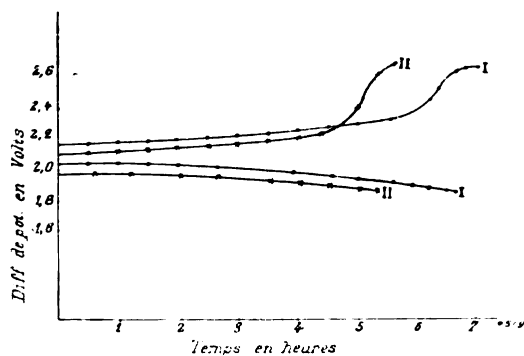



Fig. 6.

23 à 27°B., il y a une augmentation de 25 p. 100 environ.

La figure 9 indique d'ailleurs la variation de capacité en pour 100, en prenant comme unité la capacité obtenue avec l'acide à 23°B.

Les rendements pour les différentes concentrations, sont aussi portés sur les courbes de la figure 10. Comme on le voit, les rendements en quantité et en énergie sont plus faibles quand les concentrations augmentent ; mais les différences sont si faibles qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte en pratique. C'est ainsi qu'entre 27 et

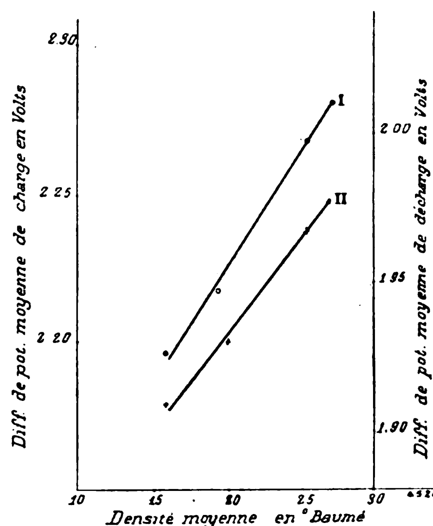



Fig. 7.

16°B., la différence n'est que de 1,4 p. 100 pour le rendement en quantité et 1,7 p. 100

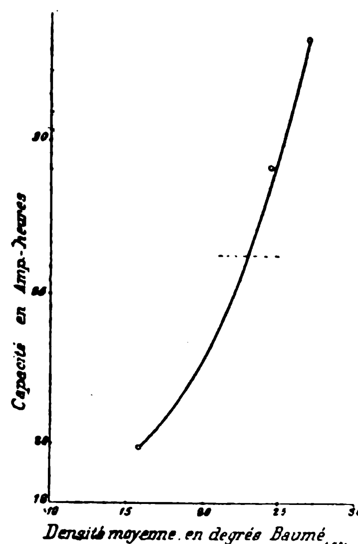



Fig. 8.

pour celui en énergie, tandis que l'augmentation de capacité atteint 50 p. 100.

L'auteur a entrepris également des expériences de durée, et il a trouvé que pour les plaques positives à grille, travaillant dans l'acide à 30°B., la durée atteignait les 92 à 94 cen-

tièmes de celle de ces plaques dans l'acide à 23°B. Pour les négatives, aucune différence

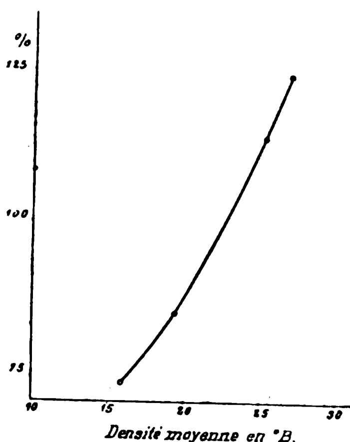



Fig. 9.

n'était constatée. Il s'agissait ici d'éléments transportables, dont la durés est très courte.

Pour de tels éléments qui doivent avoir un

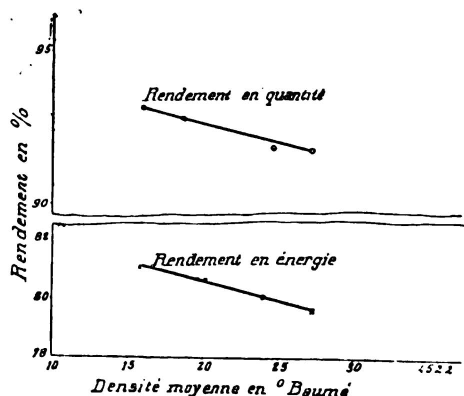



Fig. 10.

très faible poids et un très faible encombrement, l'auteur conclut qu'il y a lieu de choisir la densité qui procure la plus grande capacité

L. J.

***Théorie de l'accumulateur Edison nickel-fer***, par **E.-F. Rœber**. — *Electrical World and Engineer*, t. XXXVIII, page 931, 7 décembre 1901.

Dans une précédente communication, Johnson a indiqué que la concentration varie aux électrodes, mais que ce changement influe peu sur la tension et que l'allure de la différence de potentiel à la décharge n'est pas expliquée par l'influence de la variation de la concentration sur la différence de potentiel entre les électrodes et les solutions.

Comme base de son argumentation, Johnson donne, pour la variation de la force électromotrice du couple peroxyde de nickel-hydrogène en fonction de la concentration, la formule

$$e_1 - e_2 = \frac{0{,}058}{2} \log \frac{p_1}{p_2}$$

dans laquelle $p_1$ et $p_2$ sont les concentrations des solutions alcalines. Une même formule serait valable pour l'autre plaque. Dans ces conditions, une variation de concentration de la solution, de 20 à 1 p. 100, ne correspondrait pas à plus de 0,03 volt.

L'auteur prétend que si l'électrode normale (platine platiné saturé d'hydrogène) a souvent des emplois avantageux dans les recherches scientifiques, ici, elle introduirait des complications. Dans ce cas, en effet, $e_1$ représente la force électromotrice de la combinaison peroxyde de nickel, potasse à 20 p. 100, hydrogène; et $e_2$, le même couple dans la potasse à 1 p. 100. La différence $e_1 - e_2$ ainsi définie par Johnson, ne donnerait pas la variation de la différence de potentiel entre la plaque au peroxyde de nickel et la solution seule; mais plutôt la variation de la force électromotrice à l'électrode hydrogène, ce qui n'a pas le moindre intérêt dans le cas présent. Ce qui serait important, serait de calculer $e_1 - e_2$, $e_1$ étant la différence de potentiel entre la plaque peroxyde de nickel et la potasse à 20 p. 100; et $e_2$, entre la même et la potasse à 1 p. 100. D'après la théorie de Nernst, on a

$$e_1 = \frac{0{,}058}{n} \log \frac{P}{p_1} \qquad (1)$$

P étant la tension de dissolution, $p_1$, la pression osmotique des ions, pour lesquels l'électrode est réversible, et $n$ la valence. Avec la pression osmotique $p_2$ des ions, il vient

$$e_2 = \frac{0{,}058}{n} \log \frac{P}{p_2}.$$

La différence de force électromotrice dans les deux cas est

$$e_1 - e_2 = \frac{0{,}058}{n} \log \frac{p_2}{p_1}$$

pour le cathion, et

$$l_1 - l_2 = \frac{0{,}058}{2} \log \frac{p_1}{p_2}$$

pour l'anion.

La pression osmotique étant proportionnelle à la concentration de l'ion considéré, on peut remplacer $\frac{p_2}{p_1}$ par le rapport des concentrations $\frac{c_2}{c_1}$.

Johnson donne la même formule, mais il nomme $p_1$ et $p_2$ la tension aqueuse de la solution caustique; il veut dire évidemment la pression osmotique des ions K ou des ions OH. La pression osmotique est proportionnelle à la concentration de KOH; ainsi, il obtient, en supposant l'une des solutions de potasse 20 fois plus concentrée que l'autre,

$$e_1 - e_2 = \frac{0,058}{2} \log 20 = 0,038.$$

L'auteur fait observer que cette conclusion est fausse, parce que l'électrode peroxyde de nickel ne peut pas être supposée réversible par rapport aux ions K ou aux ions OH.

La conclusion de Johnson serait exacte pour une électrode cuivre, dans le sulfate de cuivre, ou pour une électrode zinc, dans le sulfate de zinc. Mais le cas de l'élément Edison est tout différent, puisqu'on a une électrode peroxyde de nickel et une électrode fer, dans une solution de potasse.

On se trouve ici dans les mêmes conditions qu'avec l'accumulateur au plomb. Avant de pouvoir appliquer la formule de Nernst, il a fallu connaître exactement l'ion en regard duquel chaque électrode est réversible. Il existe deux théories différentes, qui conduisent au même résultat et sont en accord avec les faits, ce sont les théories de Le Blanc et de Libenow. Toutes deux supposent que l'électrode plomb est réversible par rapport aux ions positifs Pb bivalents. Quant à l'électrode peroxyde, Le Blanc admet qu'elle est réversible par rapport aux ions Pb tétravalents, pendant que Liebenow prétend qu'elle est réversible par rapport aux ions négatifs bivalents à $PbO^2$.

Pour appliquer la formule de Nernst à l'élément Edison, il faudrait d'abord connaître quel est l'ion pour lequel les électrodes sont réversibles. Dans la formule (1), P représenterait alors la tension de dissolution et $p_1$ la pression osmotique de ces ions.

En ce qui concerne la question soulevée par Johnson, au sujet de la variation de résistance intérieure, l'auteur prétend que cette question ne peut être résolue que par l'expérience et qu'il est impossible d'établir *a priori* une théorie mathématique exacte tenant compte de toutes les influences variables qui apportent un changement dans la résistance intérieure.

L. J.

***Les accumulateurs à l'Exposition pan-américaine de Buffalo***, par **G.-H. Rabenalt**. — *Centralblatt fur Accumulatoren, Elementenkunde und Accumobilenkunde.* t. III. p. 1 et 17, 1 et 15 janvier 1902.

Quatre sociétés seulement avaient exposé : the Gould Storage Battery C°, Depew, New-York; the Electric storage Battery C°, Philadelphie; the Porter Battery C°, Chicago; et the Edison Manufacturing C°, Westh-Orange, New-York.

L'auteur donne la description des éléments de ces différentes maisons. Des accumulateurs Gould, nous ne dirons rien ici, la description ayant paru d'autre part dans ce journal [1].

Les éléments stationnaires de l'Electrical Storage Battery C° comprennent des plaques positives à spirales, semblables à celles décrites précédement de la Chloride Electrical Storage Syndicate Limited, de Manchester [2].

Les négatives sont également identiques comme fabrication à celles de cette dernière société; mais les pastilles de chlorure de plomb sont de forme carrée.

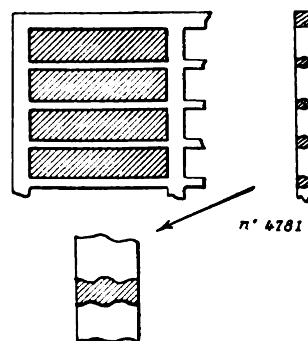



Fig. 1.

Pour les éléments d'automobiles, connus sous le nom d'Exide Battery, cette société construit des positives à grille empâtée. Comme l'indique la figure 1, cette grille est constituée par

[1] *Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 252, 17 mai 1902.
[2] *Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 485.

nervures triangulaires, dont la base est à la surface de la plaque et le sommet au milieu. Les nervures des deux côtés opposés ne sont d'ailleurs pas en regard, mais disposées en zigzag. Les grilles négatives sont obtenues par perforation d'une plaque de plomb laminé. Les constantes d'un élément de ce type sont résumées ci-dessous.

| | | |
|---|---|---|
| Nombre de plaques | | 3 + et 4 — |
| Dimensions des plaques en millimètres | hauteur | 219 |
| | largeur | 122 |
| Dimensions extérieures de l'élément, en millimètres | longueur | 65 |
| | largeur | 135 |
| | hauteur | 293 |
| Poids de plaques (avec prises de courant), en kg | | 6 |
| Poids d'acide sulfurique ($d = 1{,}24$), en kg | | 1 |
| Poids total de l'élément, en kg | | 7,9 |
| Capacité en ampères-heures, au régime de 4 heures | | 72 |
| Capacité massique, en amp.-h. : kg de poids total | | 9,11 |

La Porter Battery C° n'exposait que des éléments d'automobiles.

Les plaques positives et négatives de ceux-ci sont semblables et du type à grille empâtée. La figure 2 représente une telle grille, qui est

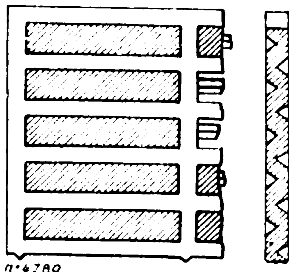



Fig. 2.

caractérisée par le fait que les nervures transversales sont cintrées à l'intérieur, dans le but d'empêcher les chutes de matière active. Dans le tableau suivant, on trouvera quelques constantes relatives à un élément de ce type, monté dans un bac en ébonite.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nombre de plaques | | | | 3 + et 4 — |
| Dimensions extérieures de l'élément, en millimètres | longueur | | | 54 |
| | largeur | | | 133 |
| | hauteur | | | 254 |
| Poids total de l'élément, en kg | | | | 5 |
| Densité de l'acide | | | | 1,25 |
| Capacités aux différents régimes, en ampères-heures | 5 heures | 60 amp.-h. | à | 12 amp. |
| | 4 heures | 57 | » | 14,25 |
| | 3 heures | 48 | » | 16 |
| Capacité massique en amp.-h. : kg de poids total, au régime de 4 heures | | | | 11,40 |

L'auteur ne dit rien de l'unique accumulateur peroxyde de nickel-fer, exposé par la Edison Manufacturing C° et qui ne pouvait être vu qu'à distance, derrière la cage de verre qui le recouvrait. L. J.

## ÉLECTROCHIMIE

***Le block système du Métropolitain de Boston*** par **H. S. Knowlton.** *Street Railway Journal*, t. XVIII, n°3, p. 155, septembre 1901.

La figure 1 montre le tracé du railway surélevé de Boston affermé à la Compagnie du West End Street Railway qui détenait le tram-

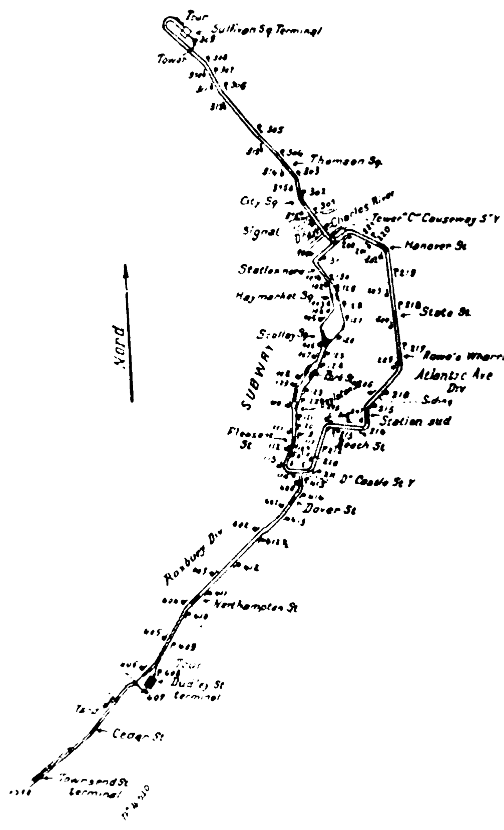



Fig. 1.

way de surface. La nouvelle ligne est exploitée partiellement depuis le 10 juin 1901.

Le mouvement des affaires à Boston est concentré dans le quartier limité par Subvey et l'Atlantic Avenue (fig. 1). On évalue à un demi million le nombre de voyageurs que déverse la journellement la banlieue et qui forme la partie essentielle du nouveau métropolitain :

Il en résulte, surtout le matin et le soir, un service extrêmement chargé qui rend très difficile la circulation à grande vitesse qu'on s'est proposée. A la seule station de Park Street il passe tous les jours 100 000 voyageurs.

Néanmoins le trajet de Roxbury à Charlestown se fait en vingt-deux minutes contre quarante-cinq qu'il fallait avec le tramway de surface. Cela fait une vitesse de 21 km à l'heure. En brûlant les stations, les trains spéciaux arrivent à couvrir la distance en seize minutes.

En somme le but du railway surélevé est d'aller rapidement du centre des affaires aux terminus, et au moyen de correspondances, de faire transporter les voyageurs aux petites distances sur le tramway de surface.

Pour assurer la sécurité à des trains qui se succèdent toutes les deux minutes, il a fallu recourir à un système de signaux perfectionné.

Toute la ligne est équipée avec le block dont certains appareils fonctionnent automatiquement, les autres étant commandés à la main.

Les signaux ont la forme de sémaphores. Le bras horizontal signifie arrêt; incliné à 60 degrés, il rend la voie libre. Les signaux sont placés à droite et au-dessus de la voie qu'ils commandent. La nuit, des lanternes rouges et vertes indiquent respectivement danger et sécurité.

Les signaux sont espacés à des distances variables, petites sur les sections de la ligne où la vitesse sera faible, grandes sur les sections à grande vitesse.

*Fonctionnement du block automatique.* — La manœuvre de ces signaux se fait au moyen d'air comprimé à 6,5 kg par cm². Les robinets des conduites d'air sont commandés par des électros. A cet effet un des rails est formé de sections isolées les unes des autres. Les deux rails sont réunis au moyen de l'enroulement de l'électro. Au passage du train, les roues courtcircuitent le signal et le bras du sémaphore est amené à la position arrêt par son propre poids. Au cas où le mécanicien négligerait d'arrêter son train, un levier agit automatiquement sur le frein à air du train. Ce levier est dressé quand le sémaphore est à l'arrêt, et ouvre au moment du passage du train un robinet placé sur la tuyauterie. Chaque voiture est munie de ce robinet, il en résulte que le joint isolant du rail est disposé à 54 m au-delà du signal afin qu'un train de quatre voitures puisse passer sur le levier, avant que les roues de devant n'aient mis le signal à l'arrêt.

En général les signaux du block ne sont pas doublés par des signaux de distance. A certaines courbes cependant on a disposé des signaux jaunes signifiant « Attention, marcher lentement » à la position horizontale, et « Voie libre » à la position inclinée.

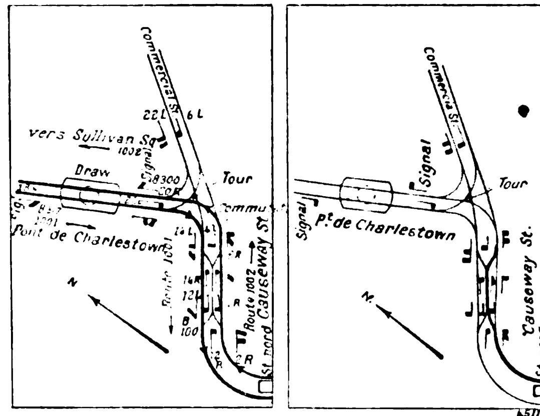



Fig. 2 et 3.

Aux bifurcations importantes les signaux automatiques sont remplacés par des appareils commandés à bras d'hommes et dont les leviers sont réunis dans des espèces de tours.

Les figures 2 et 3 montrent la disposition des signaux de la bifurcation de Causeway.

C. B.

**Le chemin de fer électrique de New-York à Portchester**, *Street Railway Journal*, t. XVIII, n° 6, décembre 1901.

La New-York and Portchester Railroad Company projette de relier New-York et Porchester par un chemin de fer électrique à grande vitesse. A la tête de l'entreprise, se trouve M. W.-C. Gotshall, qui a étudié un grand nombre de tramways en Amérique, et est intervenu aussi dans l'établissement de plusieurs réseaux parisiens.

La nouvelle ligne partira de Willis Avenue, traversera New-York sur 12 km, par Bronx Park, et se prolongera sur 21 km, par Westchester County, pour atteindre Portchester. La voie sera quadruple et traversera toutes les artères de communication déjà existantes, soit sur des ponts, soit en tunnel. On a prévu ainsi 78 passages à exécuter en voûtes de béton.

Le service comprendra des trains express et omnibus. Les trains express couvriront la distance de 33 km en 31 minutes, atteignant une vitesse maxima de 95 km à l'heure, et une vitesse moyenne de 65 km à l'heure, arrêts compris. Ils se succèderont à dix minutes d'intervalle. Les arrêts seront de 15 secondes. Le service rapide est, d'ailleurs, figuré sur le graphique de la figure 1.

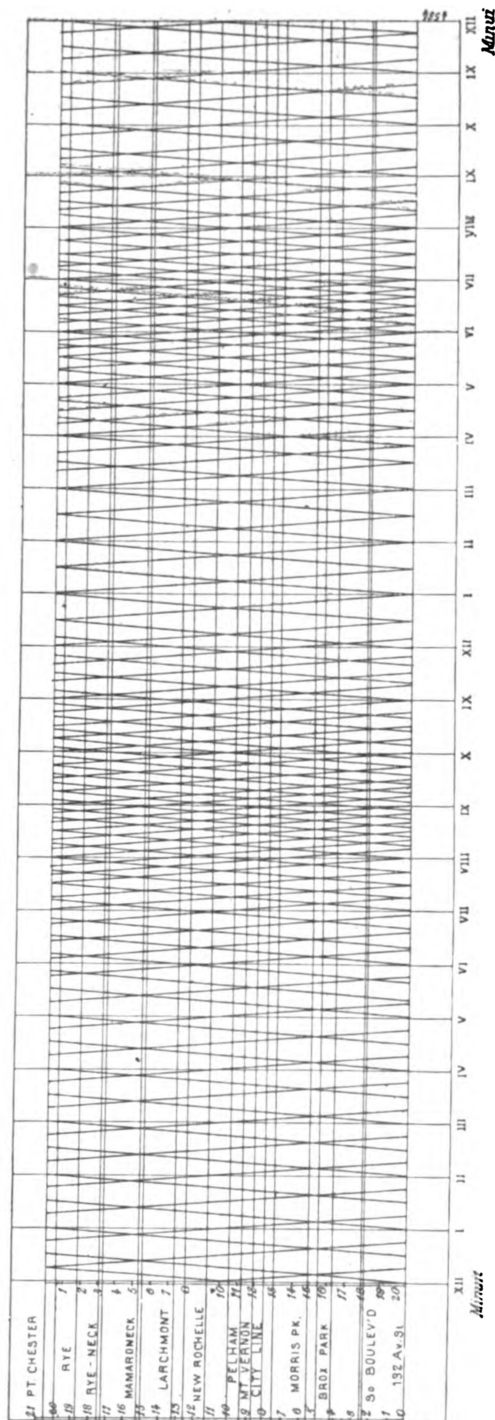


Fig. 1.

Les trains omnibus feront le trajet en 49 minutes; leur vitesse maxima sera de 75 km à l'heure, leur vitesse moyenne, 50. Aux moments de l'exploitation intensive, c'est-à-dire de 7,30 à 10 heures 30 du matin et de 3,30 à 7 heures 30 du soir, les trains se suivront à 5 minutes d'intervalle. On prévoit annuellement un total de 7 500 000 voitures-kilomètre.

Les rails (40 kg) seront posés sur des traverses en chêne de 2,40 m / 0,20 / 0,15. L'infrastructure sera composée d'un lit de pierre de 0,25. Le ballast affleurera le sommet des traverses.

Un troisième rail est prévu pour la prise de courant. Placé sur le côté de la voie, sa tête dépassera de 0,45 m, celle des rails de roulement.

Le matériel roulant est formé de 70 voitures, longueur 18 m, largeur 2,80 m. Elles contiendront 150 personnes, dont 80 assises. Chaque voiture sera équipée avec 4 moteurs de 400 ampères, commandés par un système de contrôleurs multiples. On avait songé, primitivement, à des moteurs de 300 ampères, mais ils eussent donné une accélération trop faible.

La réduction des engrenages est de 56/41. Le service ordinaire se fera au moyen d'une voiture unique, le service express, au moins avec deux.

La station centrale, placée au centre électrique du système, aura une puissance de 12 000 kilowatts. Elle distribuera du courant triphasé à 3 sous-stations, munies, en outre, d'une batterie d'accumulateurs.

Dans l'avant-projet qu'il a présenté à la New-York and Portchester Railroad Company, M. Gotshall s'est servi de diagrammes très détaillés. Nous en reproduisons quelques-uns.

La figure 2 montre les accélérations obtenues avec le moteur de 400 ampères. Les courbes en trait plein se rapportent à la marche en palier, celles en trait ponctué à des pentes de un demi p. 100, 1 p. 100, etc.

La figure 3 donne la même étude pour le moteur de 300 ampères qu'on avait en vue primitivement. On voit qu'au bout de dix secondes, la

vitesse est de 24 km à l'heure, alors qu'elle atteint, au bout du même temps, 35 km avec le moteur de 400 ampères. On aurait eu un démarrage trop lent et on n'aurait pas pu, en respec-

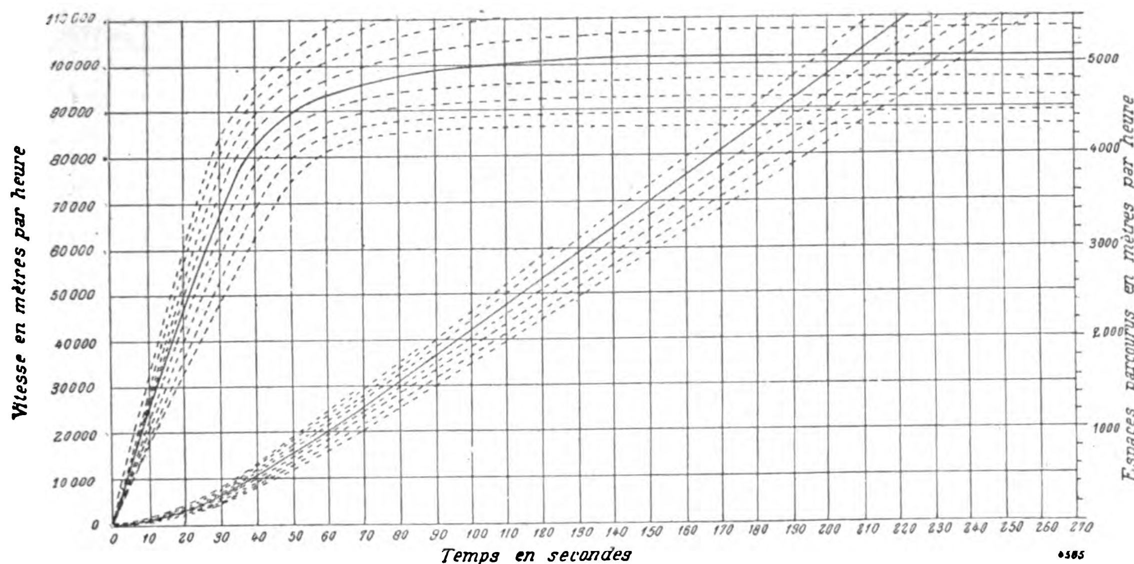



Fig. 2.

tant l'horaire fixé *a priori*, récupérer à l'arrêt l'énergie consommée au départ ([1]).

La figure 4 montre l'arrêt avec le moteur de 400 ampères. Les courbes D donnent les vitesses, les courbes S les espaces.

La courbe $S_B$ est la courbe des espaces par-

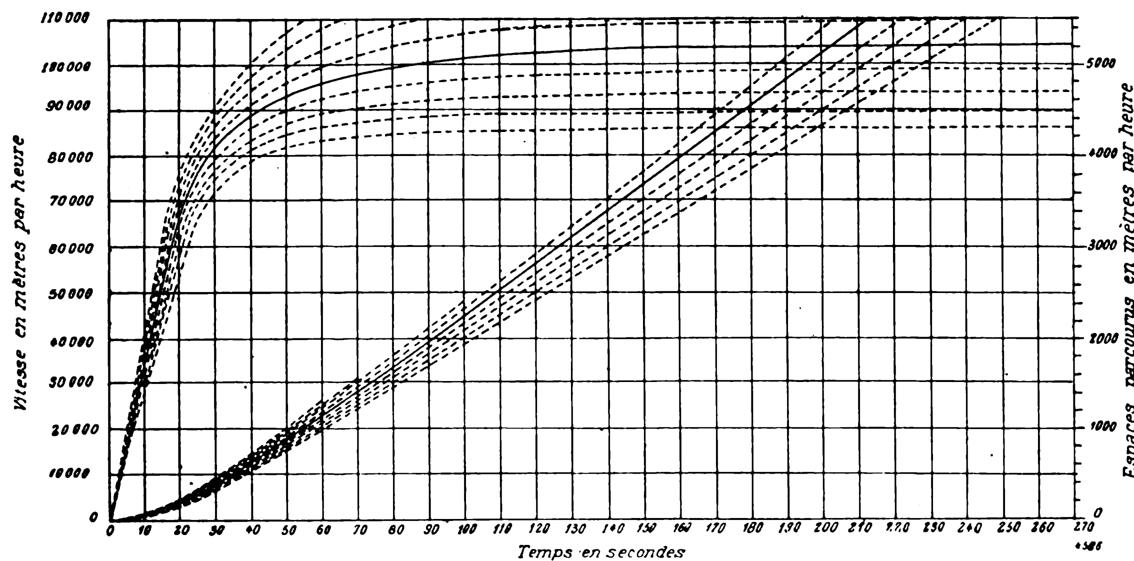



Fig. 3.

courus lorsqu'on arrête par un freinage moyen de 70 kg par tonne (courbe B).

La figure 5 montre le parcours de la 149e Avenue à Bronx Park, au point de vue de l'énergie consommée. On y a tablé sur un effort moyen de freinage de 70 kg par tonne, et sur un coefficient de traction de 12 p. 100. La résistance de l'air a été prise égale à 18 kg par tonne, d'après

([1]) Voir : « Energie consommée par une voiture de tramway », par Volkers. *L'Éclairage Électrique* du 3 Mai 1901, p. 181 (Freinage).

des expériences faites sur des trains circulant à 100 km à l'heure sur la ligne de Buffalo à Lokport.

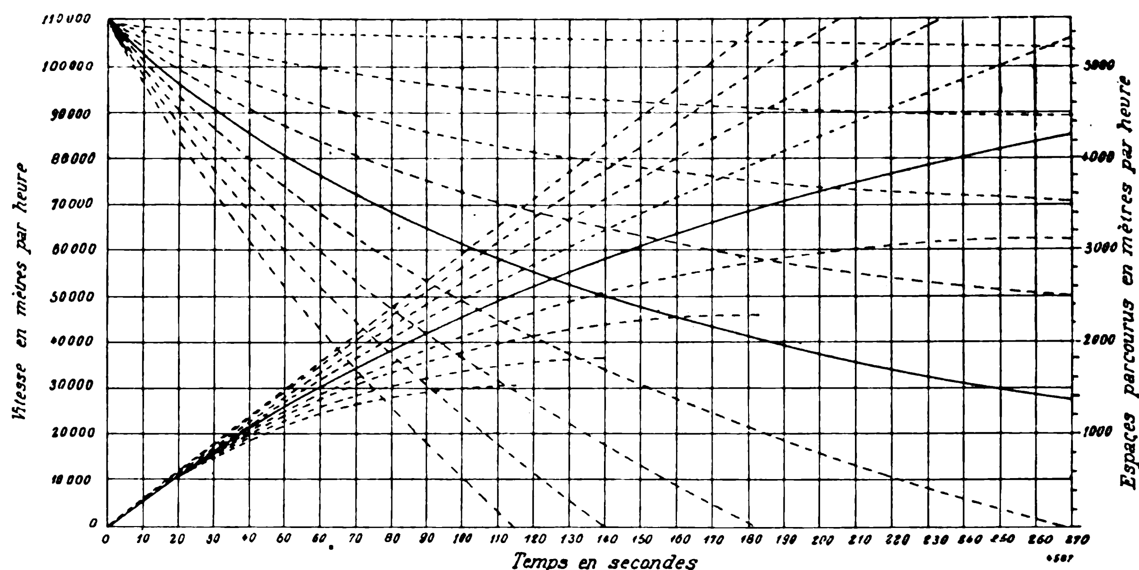



Fig. 4.

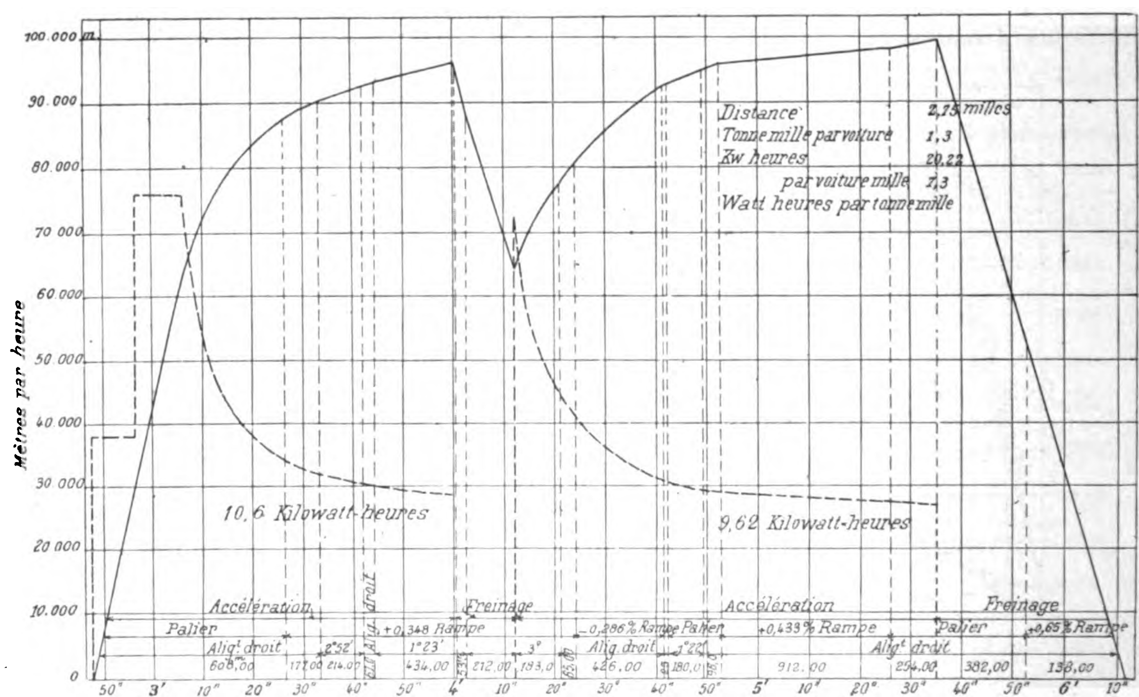



Fig. 5.

On est arrivé ainsi à des consommations moyennes de 80 watts-heure par tonne-km en service rapide et de 95 watts-heure par tonne km en service ordinaire.

*Données financières. Frais d'établissement du réseau.*

| | |
|---|---|
| Construction et matériel | 36 000 000 fr. |
| Expropriations | 8 000 000 » |
| Intérêts pendant la construction | 1 500 000 » |
| Frais généraux | 1 250 000 » |
| Divers | 2 500 000 » |
| | 49 250 000 fr. |

*Frais d'exploitation.*

| | | |
|---|---|---|
| Entretien de la voie et des bâtiments | 0,062 fr | par voiture-km. |
| Entretien du matériel | 0,062 | » |
| Energie électrique | 0,143 | » |
| Canalisations électriques | 0,124 | » |
| Frais généraux | 0,054 | » |
| | 0,445 fr | par voiture-km. |

Pour un total de 7 500 000 voitures-kilomètre, cela fait, par an, 3 400 000 fr.

En évaluant les recettes à 7 500 000 fr, on arrive à une balance de 4 100 000 fr.

*Détail des frais de construction.*

| | |
|---|---|
| Terrassements (2 290 000 m³ | 5 250 000 fr. |
| Travaux dans le roc (170 000 m³) | 1 650 000 » |
| Ballast (130 km) | 1 125 000 » |
| Traverses (130 km) | 850 000 » |
| Rails et éclissage | 2 750 000 » |
| Passages aériens | 3 300 000 » |
| Pont de Broux | 300 000 » |
| Pont de Mamaroneck | 300 000 » |
| Pont de Petham | 500 000 » |
| Passages de West-Farms, New-Rochelle, Portchester et New-Haven | 375 000 » |
| Viaduc | 2 000 000 » |
| Système de Block | 625 000 » |
| Téléphone et télégraphe | 125 000 » |
| 3e rail | 1 800 000 » |
| Clôtures | 125 000 » |
| Canalisations | 1 000 000 » |
| Station centrale de 12 000 kw à 500 fr le kw | 6 000 000 » |
| Bâtiment de la station centrale | 600 000 » |
| 3 sous-stations | 1 800 000 » |
| Bâtiments des sous-stations | 250 000 » |
| 70 voitures | 1 800 000 » |
| 50 équipements à 4 moteurs | 2 000 000 » |
| 50 contrôleurs série parallèle | 575 000 » |
| 70 freins | 150 000 » |
| 22 stations | 450 000 » |
| Divers | 1 000 000 » |
| | 36 000 000 » |

Pour évaluer la recette à 7 500 000 fr, on a admis que le chemin de fer desservirait 300 000 habitants, dont 180 000 sont à moins d'un kilomètre de la ligne et qui, actuellement, sont dépourvus de moyens de communication rapide.

C. Battegay.

***Manchon connecteur de rails, système Scheinig Hoffmann*** (¹).

*Note rectificative.* — Il s'est glissé une erreur à la fin de l'article du 22 février 1902, concernant le prix du manchon ; les valeurs 14,04 kr et 16,64 kr, du manchon employé respectivement avec éclisses et connecteurs en cuivre ou seul, correspondent en monnaie française à 14 fr 04 et 16 fr 64 en comptant la couronne autrichienne (Kr) à 1 franc. A. M.

(¹) Voir *Écl. Électrique*, t. XXX, p. 283, 22 février 1902.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## ACADÉMIE DES SCIENCES

*Séance du 21 avril 1902*

***Sur quelques phénomènes de polarisation voltaïque,*** par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 865-873.

En étudiant les piles fondées sur l'action réciproque de deux liquides, on observe fréquemment des phénomènes de polarisation, attribuables au conflit des réactions simultanées. L'auteur rend compte d'une série d'expériences auxquelles il a procédé pour élucider la cause de ces phénomènes. Il a recherché notamment, si la polarisation et la réversibilité que l'on observe au cours des électrolyses normales d'un sel ou d'un acide se rencontrent également dans les piles dont la force électromotrice est attribuable en partie aux réductions et oxydations organiques, telles que celles du pyrogallol ou celles accomplies au sens de l'économie animale. Il montre que dans les piles se présentent des phénomènes de polarisation compliqués,

dépendant de la grandeur relative des forces électromotrices, de signes contraires, mises en jeu à chacun des pôles. Ces phénomènes tendent à diminuer, à annuler les forces électromotrices normales et même à changer de signe les deux électrodes.

***Sur les procédés destinés à constater l'action électrolytique d'une pile***, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 873-876.

Les actions électrolytiques que l'auteur s'est attaché à constater sont : la décomposition des solutions aqueuses d'acides avec dégagement de gaz et la décomposition d'un sel neutre, tel que le sulfate de sodium, avec formation d'acide et de base. L'auteur précise les conditions d'obtention de ces électrolyses et y ajoute quelques données nouvelles.

***Sur l'absorption de la radio-activité par les liquides,*** par **Th. Tommasina**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 900-902.

Dans une note récente, M. P. Curie [1] a fait connaître les résultats d'expériences montrant que les liquides diélectriques deviennent conducteurs sous l'influence des rayons Rœntgen et des rayons Becquerel. M. Tommasina avait fait également des recherches sur le même sujet; il indique le dispositif qu'il a employé et les résultats qualitatifs qu'il a obtenus.

*Séance du 28 avril 1902*

***Étude des piles fondées sur l'action réciproque des liquides oxydants et réducteurs. Dissolvants communs. Action des acides sur les bases,*** par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 933-950.

Longue étude dont la conclusion est renvoyée à un autre mémoire et qui s'occupe des réactions électrolytiques qui peuvent donner naissance aux acides libres que l'on rencontre dans les sécrétions animales : suc gastrique, urine, suc musculaire.

***Sur la graduation des couples thermométriques,*** par **Daniel Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 983-985.

L'auteur se sert quotidiennement de couple platine-platine iridié, chauffés électriquement dans une atmosphère d'air, d'azote ou d'anhydride carbonique et n'a jamais constaté les anomalies signalées parfois dans le fonctionnement de ces couples; aussi attribue-t-il ces anomalies à l'altération chimique que peut éprouver le platine dans une atmosphère réductrice comme celle qui peut exister dans un four à gaz ou dans la flamme d'un bec Bunsen.

La graduation de ces couples est des plus simples; l'auteur la rappelle et fait connaître les résultats qu'il a obtenus dans l'étalonnement de deux de ces couples [1].

*Séance du 5 mai 1902*

***Études sur les piles fondées sur le concours d'une réaction saline avec l'action réciproque des liquides oxydants et réducteurs. — Conclusions,*** par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV p. 1009-1031.

L'auteur ajoute de nouveaux faits d'expériences

[1] *L'Écl. Élect.*, t. XXX, p. 372, 8 mars 1902.

[1] La relation entre les forces électromotrices *e* et les températures centigrades *t*, la soudure froide étant placée à 0°, est fort simple. Si l'on porte en coordonnées log *e* et log *t*, la courbe entre 400° et 1100° est représentée, aux erreurs d'expérience près, par une droite. E. Becquerel avait appliqué une formule de ce genre au couple platine-palladium entre de faibles intervalles de température, et M. S. Holman a montré qu'elle convient dans des limites étendues aux couples formés par le platine et ses alliages.

» Il suffit donc de deux points fixes pour graduer un couple entre 400° et 1100°. Les points les plus recommandables sont, à mon avis, le point de fusion du zinc (419°) et le point de fusion de l'or (1064°); ce dernier se détermine en intercalant, entre les extrémités des deux fils du couple, un mince fil d'or de 3 mm à 4 mm de long et en lisant la force électromotrice au moment de la fusion qui amène la rupture du circuit.

» Le point d'ébullition du soufre (445°), qui a souvent été employé, est à déconseiller, car il ne donne de résultats exacts qu'à la condition d'observer une série de précautions minutieuses indiquées par MM. Heycock et Neville.

» J'ai étalonné avec un soin spécial deux couples platine-platine iridié à 10 p. 100, provenant, l'un de la maison Matthey, de Londres, l'autre de la maison Desmoutis, de Paris. J'ai employé comme piles-étalons un élément Gouy, un Latimer-Clark et un couple fer-cuivre fonctionnant entre 0° et 100° et antérieurement calibré en valeur absolue par M. Abraham. Les points de fusion et d'ébullition ont été pris dans l'air. Les indications observées à plusieurs années de distance ont été concordantes à moins de $\frac{1}{1000}$ près.

» La Table suivante donne, à côté des températures centigrades *t*, les forces électromotrices *e* en microvolts et les températures calculées par la formule logarith-

à ceux déjà signalés dans les communications antérieures, puis il expose les conclusions qui lui paraissent découler de l'ensemble. De ces conclusions retenons celles qui se rapportent aux piles où l'eau oxygénée concourt avec le pyrogallol à la production du courant :

« Je rappellerai, dit M. Berthelot, que dans chaque élément d'une pile de ce genre, l'énergie additionnelle, attribuable à l'intervention de l'eau oxygénée, varie entre des limites considérables. Son accroissement maximum équivalait, dans mes essais, à 12 cal environ ; mais il a été souvent berucoup moindre. Parfois même, la force électromotrice de l'élément est diminuée par l'adjonction de l'eau oxygénée, ainsi que j'en ai cité plusieurs exemples. L'oxygène qui intervient ici peut d'ailleurs provenir de deux origines d'ifférentes : l'électrolyse proprement dite de l'eau oxygénée, laquelle consomme pour la séparation d'un atome d'oxygène $\frac{47,3}{2}=23,6$ cal au lieu de 34,5 cal ; l'oxydation du pyrogallol aurait donc apporté au maximum 35,6 cal environ, si l'oxygène qui la produit avait une semblable origine. Mais il est plus vraisemblable de supposer que cet oxygène résulte de la simple décomposition de l'eau oxygénée, sans séparation d'hydrogène, laquelle dégage $+21,7$ cal, susceptible de porter vers 72 cal à 82 cal la chaleur de la réaction subie par le pyrogallol. Il devrait en résulter un accroissement de la force électromotrice fort supérieur à celui qui a été constaté. De là résulte cette conclusion que l'énergie provenant de la réaction propre de l'oxygène dérivé de la décomposition simple de l'eau oxygénée, ne s'ajoute pas purement et simplement, dans chaque élément, à l'énergie des réactions voltaïques ; soit qu'elle n'intervienne que pour une fraction dans la production de cette dernière énergie, soit que l'oxydation du pyrogallol ne fournisse pas alors les mêmes produits. Cependant, les expériences montrent que l'intensité du débit électrolytique extérieur à la pile est, en général accrue par l'intervention intérieure de l'eau oxygénée, même quand la force électromotrice des éléments n'a pas été augmentée par l'addition de cette substance aux piles qui renfermaient déjà du pyrogallol.

» On voit par là comment interviennent des actions réputées secondaires par rapport aux réactions directes des piles ; surtout si, comme dans le cas actuel, les réactions secondaires résultent du jeu même des réactions directes. En définitive, c'est l'ensemble de ces réactions qui concourt à la production de la force électromotrice et, par conséquent, du courant ; ainsi que j'ai eu l'occasion de l'établir lors de mes recherches sur la force électromotrice minima nécessaire pour développer une électrolyse sensible [1].

» Ce qui achève de démontrer cette interpré-

---

mique en supposant connus les points de fusion du zinc et de l'or.

*Points de fusion.*

| | | COUPLE A | | COUPLE B | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $t$ | $e$ | $t$ (calculé) | $e$ | $t$ (calculé) |
| | ° | | ° | | ° |
| Glace. . . | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cadmium . | 321 | 3 950 | 319,4 | 3 615 | 319,1 |
| Zinc . . . | 419 | 5 244 | (419) | 4 846 | (419) |
| Argent . . | 957 | 12 425 | 957,6 | 11 762 | 955,6 |
| Or . . . . | 1 064 | 13 870 | (1 064) | 13 200 | (1064) |
| *Points d'ébullition.* | | | | | |
| Eau. . . . | 100 | 1 154 | 98,2 | 1 003 | 97,5 |
| Aniline . . | 184 | 2 189 | 181,4 | 1 966 | 181,0 |
| Naphtaline. | 218 | 2 622 | 215,6 | 2 371 | 215,5 |
| Benzophé-none . . | 306 | 3 755 | 304,2 | 3 450 | 305,4 |
| Soufre . . | 445 | 5 586 | 445,1 | 5 165 | 444,5 |
| Séléuium . | 690 | 8 834 | 690,6 | 8 295 | 690,7 |
| Cadmium . | 778 | 10 010 | 778,4 | 9 403 | 776,1 |
| Zinc . . . | 918 | 11 880 | 917,3 | 11 230 | 915,6 |

» La plupart des auteurs ont rencontré une sérieuse difficulté à assurer la protection des couples contre l'attaque des métaux fondus ou bouillants dans lesquels on veut les plonger et ont eu recours à des artifices parfois compliqués. J'ai trouvé commode d'employer dans ce but les tubes de porcelaine que livre le commerce sous le nom de tubes de *Rose*.

» Il est seulement nécessaire de fermer une de leurs extrémités en la fondant au chalumeau oxhydrique. Leur longueur est 18 cm, leur diamètre extérieur 6 mm, leur diamètre intérieur 2,5 mm, ce qui suffit pour y loger le couple, si l'on emploie le tour de main indiqué par M. Le Chatelier, qui consiste à isoler les deux fils du couple par un mince cordon d'amiante que l'on replie en forme de 8, chacun des fils du couple passant dans une des boucles du 8. L'ensemble de ce système n'est guère plus encombrant qu'un thermomètre à mercure et est beaucoup moins volumineux qu'un pyromètre à résistance de platine. Avec un bon galvanomètre on obtient sans difficulté une sensibilité de 0°,1 au voisinage de 1 000°. »

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXVII, p. 98.

tation, c'est le fait constaté que les agents secondaires, tels que le pyrogallol et l'eau oxygénée, ne sont pas susceptibles de donner naissance à une électrolyse extérieure directe et appréciable par leur opposition, lorsque l'on se borne à les introduire à l'intérieur d'une pile formée par un même corps pris à deux états de dilution différente, tel que le chlorure de sodium.

« En tout cas, il y a là des distinctions essentielles, qui n'ont guère été faites jusqu'ici : elles sont suscepsibles de jouer un rôle important dans les actions électrolytiques, applicables aux réactions de la chimie organique et aux réactions physiologiques, où concourent précisément des composés non susceptibles d'électrolyse directe, tels que l'hémoglobine et divers principes susceptibles d'absorber immédiatement l'oxygène libre. »

***Action de la self-induction sur les spectres de dissociation des composés***, par **A. de Gramont.** *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1048.

« Dans les méthodes spectroscopiques employées par l'auteur pour l'analyse spectrale directe des minéraux [1] ou des produits métallurgiques ou encore des composés non conducteurs à l'aide des sels fondus [2], les spectres de dissociation obtenus sont généralement formés d'un grand nombre de raies des corps présents dans l'étincelle et, en plus, des principales raies de l'air, spécialement dans le cas de l'analyse directe. M. de Gramont s'est proposé de chercher à simplifier ces spectres par l'introduction d'une self-induction dans le circuit de décharge du condensateur, ce que faisaient prévoir les travaux de MM. Schuster et Hemsalech [3].

L'auteur a constaté d'abord que le spectre de l'*air* est très facile à éliminer et peut l'être sans altérer ceux des autres corps. Il suffit d'une quarantaine de tours de fil (0,00002 H) pour rendre presque invisibles [1] les raies capitales δ (5943 ; 5933), β (5680 ; 5671) α (5006 ; 5003), et le groupe ε (4651 à 4591) ; elles sont totalement supprimées, même avec 3 jarres, avec une self de 0,00006 H à 0,00008 H [2].

On remarque ensuite qu'un accroissement de la self-induction amène très rapidement la disparition des spectres de lignes des métalloïdes, soit libres, soit contenus dans les minéraux ou les sels fondus, et cela avant d'être arrivé à des valeurs de self capables de modifier sensiblement les spectres des métaux.

L'introduction dans le circuit de faibles self-inductions croissantes, faciles à préparer soi-même, permet donc de simplifier les spectres de dissociation, en éliminant d'abord celui de l'air puis successivement, ceux de différents métalloïdes, ce qui ne peut être qu'avantageux dans les recherches de chimie analytique.

---

(1) *Comptes rendus*, 12 mars, 2 avril, 2 juillet 1894; 8 avril, 8 juillet 1895; 29 juin 1896; 28 novembre 1898.

(2) *Comptes rendus*, 25 janvier, 19 juillet, 26 juillet 1897; 18 avril, 23 mai 1898.

(3) « J'ai fait usage de bobines d'induction donnant 5 cm et 10 cm d'étincelle et chargeant un condensateur formé de 1 à 6 jarres intercalables à volonté dans le circuit dont chacune avait 12,60 dm² de condensation, et 0,00433 microfarad de capacité. Je n'ai pas trouvé d'avantage à employer plus de 3 ou 4 jarres. Entre l'étincelle à étudier, maintenue très courte, et les armatures du condensateur étaient disposées, d'un côté une coupure de faible distance explosive, 1 mm au plus, et de l'autre les self-inductions de grandeurs différentes successivement mises en essai. Celles-ci étaient constituées : 1° par deux manchons isolants (bois ou carton) de 4,5 cm de diamètre, portant une couche de fil isolé de 35 tours pour l'un et de 93 pour l'autre, en donnant pour valeurs 0,00002 H et 0,00006 H (Henry); 2° une grande bobine de 72 cm de longueur portant, sur un noyau isolant de 2,8 cm douze couches, de 216 tours de fil pour les trois premières, et 242 tours pour les neuf autres. Ces couches, qu'on peut employer séparément, offrent, réunies, une self-induction totale qui a été évaluée à 0,0225 H par mesure directe (Laboratoire central d'électricité, méthode Pirani), et 0,0251 H par le calcul. Je me suis borné à calculer les valeurs des selfs séparées; elles présentent sans doute un écart de même ordre, peu important à cause de l'incertitude des limites entre les différents effets observés. Ceux-ci dépendent aussi, dans une certaine mesure, du rapport, encore mal connu, entre le condensateur et la self; mais, pour ma part, je n'ai trouvé qu'une différence d'intensification des raies restantes en employant une jarre ou bien deux ou trois, dans les conditions où j'ai opéré. »

(1) Et tout à fait invisibles dans les sels fondus, où d'ailleurs elles sont souvent absentes sans l'emploi de la self-induction.

(2) On voit donc que les selfs suffisantes pour retrancher le spectre de l'air sont de l'ordre de grandeur de celles que peuvent donner les boudins de fils en spirale qu'on emploie souvent pour les connexions électriques. J'ajouterai que les composés tels que les minéraux, la chalcosine ou l'argyrose, par exemple, permettent une élimination beaucoup plus facile du spectre de l'air que les métaux libres, cuivre ou argent, qu'ils renferment à l'état de combinaison.

---

*Le Gérant :* C. NAUD.

Tome XXXI. Samedi 31 Mai 1902. 9e Année. — N° 22.

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## LA TRACTION ÉLECTRIQUE

### SUR LES CHEMINS DE FER A VOIE NORMALE

*Conférence faite le 27 février 1902 à la Société des Ingénieurs et Architectes de Zurich.*

I. — Il existe à l'époque actuelle deux systèmes essentiellement différents de traction électrique, appliqués à des chemins de fer à voie normale sur des lignes d'une étendue un peu considérable. Ces systèmes sont représentés par les chemins de fer de Milan-Varèse (1) et de Berthoud-Thoune (2).

Pourquoi le succès de ces installations, succès généralement reconnu, n'a-t-il pas fait avancer davantage la question si urgente de la traction électrique sur les chemins de fer à voie normale ? La raison nous semble être que, au point de vue électrique, le problème de l'exploitation électrique des chemins de fer n'est en général pas saisi comme il convient (3).

Nous sommes en effet d'avis qu'un système prétendant introduire la traction électrique sur les chemins de fer ne doit imposer à l'organisation actuelle de l'exploitation aucune condition ni aucune limite concernant la faculté de la composition des trains ou la distribu-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 164, 4 nov. 1901.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. LXX, 27 août 1898 ; t. XX, p. LXXIV, 19 août 1899 ; t. XXIII, p. 210 et 502, 12 mai et 30 juin 1900 ; t. XXXI, p. XXVIII, 19 avril 1902.

(3) On présente toujours comme avantage de la traction électrique la facilité de remplacer les trains pesants par des trains légers, voire même par des voitures circulant seules et possédant toutes ou presque toutes leurs propres moteurs. Il est certain que, pour beaucoup de lignes de chemins de fer, la grande fréquence des passages de trains même légers est plus avantageuse que le service de trains lourds peu fréquents, mais ceci n'est pas le caractère du problème en général : celui-ci doit en effet envisager avant tout le service des marchandises, la traction des trains venant des lignes voisines, composés d'une façon quelconque et avec un poids quelconque, et tenir compte des horaires actuels des lignes de chemins de fer correspondant entre elles.

tion des communications; ce système doit au contraire prendre pour bases les principes de l'exploitation actuelle; c'est la condition essentielle pour amener un passage graduel et systématique de l'exploitation à vapeur à l'exploitation électrique.

Cette condition conduit à une solution du problème qui, si elle n'est pas unique, nous paraît la meilleure. Par diverses considérations [1], on se trouve naturellement amené à l'emploi de locomotives recevant des courants alternatifs simples, de très haute tension, et portant l'appareillage nécessaire pour la transformer en courant continu alimentant les moteurs de ces locomotives.

Les Ateliers de construction Œrlikon ont saisi depuis longtemps déjà cette conception du problème de la traction électrique pour les chemins de fer. Ils ont étudié et mis en exécution, en partant du principe général de la transformation sur locomotive du courant alternatif monophasé en continu, un système d'appareillage comprenant les lignes de contact, les appareils de prise de courant, le transformateur rotatif, les régulateurs et toutes les pièces actives. Ils prouveront ainsi entre autres choses qu'une locomotive électrique avec installation d'un groupe moteur générateur n'est en aucune façon trop pesante : les Ateliers de construction Œrlikon ont en ce moment en travail une locomotive à 4 essieux pour traction sous la tension de 15 000 volts à la ligne de contact; elle est construite pour une puissance disponible aux rails de 700 chevaux et son poids total s'élève à 44 tonnes environ.

---

(1) Supposons en effet que l'on prenne comme base l'exploitation actuelle des chemins de fer; pour la traction des trains de chemins de fer ordinaires, on sera obligé, dans le cas général du moins, de renoncer aux voitures à voyageurs ou à marchandises automotrices et on arrivera nécessairement à l'application d'une locomotive électrique; celle-ci remplace alors simplement la locomotive à vapeur actuelle pour la traction des trains ordinaires.

Devons-nous à présent nous attendre à trouver la solution de ce problème dans le système employé aux chemins de fer de Milan-Varèse et de Berthoud-Thoune? Ce n'est pas notre avis, car la tension du courant employé par ces deux systèmes est trop limitée pour permettre d'amener pratiquement l'énergie nécessaire à de véritables trains de chemins de fer; on serait conduit à une intensité considérable de courant et par suite à des conducteurs et à des installations mécaniques intermédiaires peut-être pratiquement impossibles.

On arrive par un calcul simple, qu'il n'est pas besoin de détailler ici, à la conviction qu'une exploitation et une installation économiques ne peuvent être obtenues qu'avec l'emploi, pour les conducteurs d'amenée, de tensions bien supérieures à celles usitées jusqu'à présent.

En réservant pour la suite les descriptions plus détaillées, nous nous bornerons pour le moment au raisonnement suivant. L'emploi de la haute tension dans la ligne de contact interdit l'emploi du courant triphasé, parce qu'il exige deux lignes aériennes très bien isolées l'une de l'autre. Une ligne aérienne unique est seule capable d'assurer une sécurité parfaite. Mais comme la tension est élevée, le courant continu est également exclu et on est contraint d'employer le courant alternatif monophasé. On ne peut cependant pas l'employer directement à alimenter les moteurs des essieux. Mais comme nous admettons le principe d'une locomotive, il faut prévoir un poids suffisant pour l'adhésion. On profite de ce besoin pour placer sur la locomotive un groupe moteur-générateur, un transformateur rotatif, ou toute autre machine commutatrice qui transforme le courant alternatif à haute tension de la ligne de contact en courant continu, qui se prête le mieux à l'alimentation des moteurs de commande des essieux. Au lieu d'employer des résistances pour le démarrage et le réglage de la vitesse comme on le fait jusqu'ici, nous appliquons une excitatrice séparée pour l'excitation du générateur du courant continu; cette méthode est la plus parfaite pour obtenir avant tout l'économie, la graduation et la sécurité dans le réglage de la vitesse, du démarrage, du freinage et du retour d'énergie à la ligne.

Ces principes caractérisent un système général. Dans la forme ainsi exposée et à l'exception de l'application du courant à haute tension directement au véhicule, ce système n'est évidemment pas nouveau; il est déjà décrit par Ward Leonard dans l'*Electrical Engineer* du 25 novembre 1891. M. W.-M. Mordey et B. Jenkin, dans une conférence faite le 18 février 1902 à l'Institution of Civil Engineers sur l' « Electrical Traction on Railways » l'a développé également d'une façon générale et a fait ressortir ses avantages.

Sous cette forme, le principe n'est pas encore pratiquement réalisable. En dehors d'une foule de dispositifs particuliers permettant seuls au système d'atteindre son adaptation au but proposé, il a été nécessaire de concevoir la construction pratique des différentes parties d'équipement de la locomotive et avant tout de la commutatrice. Il faut principalement prévoir tous les détails de construction de l'appareil de prise de courant et de la ligne de contact; ceux-ci ont en effet une influence très considérable pour l'application réellement utile du principe général et pour assurer la sécurité nécessaire au service malgré la tension élevée du courant.

II. — Le but de cette conférence n'est pas de critiquer les autres systèmes, car il y a toujours des cas particuliers où l'application de systèmes spéciaux est tout à fait justifiée et peut devenir nécessaire. Nous désirons surtout mettre en lumière par quelques considérations l'essai entrepris en grand et d'une façon pratique par les Ateliers de Construction Œrlikon ; nous voulons aussi montrer que le système esquissé brièvement ci-dessus permet une exécution pratique avantageuse dans tous ses détails, qu'il permet de joindre les avantages les plus importants de la traction électrique sans venir d'une façon essentielle à l'encontre de l'organisation actuelle du service des chemins de fer, et qu'enfin il a réalisé toute une série de progrès par rapport aux systèmes connus jusqu'à présent ([1]).

L'installation d'un groupe moteur générateur sur la locomotive même paraît avoir effarouché pour l'application pratique de cette idée ; les difficultés qu'il entraîne furent exagérées, les avantages qu'il présente furent mal jugés, et surtout l'emploi du courant alternatif monophasé pour la traction fut mis en dehors des idées courantes par la simple habitude prise d'employer le courant continu et les courants triphasés ([2]).

Nous avons déjà dit que la locomotive en construction dans les Ateliers d'Œrlikon sera disposée pour une tension d'alimentation de 15 000 volts à la ligne de contact. Supposons un train de 250 tonnes, une vitesse de 40 km à l'heure et une pente maxima de 10 p. 1 000 ; ceci exige une puissance de 575 chevaux disponible aux rails. Admettons pour la locomotive, avec son installation de transformation du courant, un rendement total de 75 p. 100, la puissance absorbée de : $\frac{575 \times 736}{0,75} = 535$ kilowatts ; en supposant un décalage de phase du courant alternatif de 0,1 et une tension de 14 000 volts à la prise de courant, il faudra recueillir : $\frac{565\,000}{0,9 \times 14\,000} = 45$ ampères sur le fil de contact.

La puissance de la locomotive n'est pas une des puissances maxima, comme par exemple celles de la ligne du chemin de fer du Saint-Gothard ; elle est cependant supérieure à la moyenne. Nous constatons en tout cas que les intensités de courant à recueillir, même pour des trains lourds, restent dans les limites de celles ordinairement recueillies dans les tramways et les chemins de fer secondaires ; on peut, d'après cela, réaliser une prise de courant dans de bonnes conditions, même avec des appareils légers et avec de grandes vitesses de marche.

Cette circonstance facilite singulièrement la construction d'une ligne de contact convenable pour les chemins de fer à voie normale. Avant de détailler plus les constructions, insistons sur ce point que la tension de 15 000 volts suffit pour l'alimentation de longues lignes de chemins de fer chargées de nombreux trains ([3]).

On pourrait être tenté de choisir une tension moins élevée. Nous estimons une tension tout à fait basse comme complètement insuffisante, tandis que le choix d'une tension considé-

([1]) L'emploi d'un groupe moteur générateur n'a d'après nous d'importance qu'en relation avec l'amenée du courant sous haute tension. C'est l'idée et la base qui différencie notre système de celui breveté par Ward Leonard en 1891 ; il est à remarquer en outre qu'en 1891 il ne pouvait être question que de tramways urbains. Le caractère principal du système Leonard était le réglage du couple moteur par réglage de la force électromotrice du générateur.

([2]) Avec une ligne de contact alimentée en courant continu ou en courant triphasé, l'emploi du convertisseur transportable est en lui-même aussi facile et les bonnes conditions qu'il donne pour le réglage du couple moteur sont également bien utilisables. Mais à notre avis ces conditions ne sont pas primordiales ; le point le plus important consiste à pouvoir alimenter la commutatrice avec du courant monophasé qui seul réunit les avantages d'une ligne de contact à un seul fil et de l'amenée du courant à très haute tension.

([3]) Nous choisirons le cas de deux trains, situés du même côté d'un point d'alimentation, avec une distance de 40 km ; les deux trains en marche sont du même poids et consomment la même puissance que celle indiquée précé-

rablement plus élevée ne paraît ni désirable, ni nécessaire. La faible valeur de l'intensité pour la prise de courant de la ligne de contact et la petitesse des pertes dans les rails paraissent être

---

demment. Les deux trains prennent sur la ligne de contact 90 ampères. Dans l'hypothèse de deux fils de contact de 8 mm de diamètre, la perte d'énergie dans la ligne sur les 40 km est de :

$$\frac{400 \times 0{,}03328 \times 90 \times 90}{2} = 600 \text{ volts} \times 90 \text{ amp.}$$
$$= 54\,000 \text{ watts.}$$

c'est-à-dire environ 4,5 p. 100 de l'énergie amenée à la ligne au point d'alimentation et en tension 4,1 p. 100 de la tension du courant au point d'alimentation.

2 fils de 8 mm de diamètre ont un poids approximatif de 900 kg par kilomètre. Assurément l'unipolarité de la ligne de contact tend à amener l'application d'une ligne de retour isolée; cependant imaginons le retour par les rails. Nous devons signaler ici le point d'ombre du courant alternatif, à savoir l'effet de l'induction dans les rails, qui se manifeste par une augmentation considérable de la résistance apparente et de la chute de tension réelle. Cet effet croît avec la fréquence du courant alternatif. Avec 42 périodes (chemin de fer Berthoud-Thoune), la résistance apparente est donnée comme égale à 8 fois la résistance ohmique d'après des communications faites par le constructeur du chemin de fer de Berthoud-Thoune, publiées dans la conférence faite par MM. W.-M. Mordey et B. Jenkin, l'Institution of civil Engineers à Londres. Avec les grandes largeurs de ligne et même avec de faibles densités de courant, comme celles qui se présentent avec les hautes tensions au fil de contact, ce fait produit des chutes de tension, qu'il est très désirable de faire disparaître pour plusieurs raisons. C'est à cause de cela que, peut-être, on ne peut pas éviter l'emploi des faibles fréquences malgré l'augmentation de poids et de frais d'installation pour les moteurs et les générateurs à courant alternatif monophasé et principalement pour les transformateurs de tension qu'il entraîne avec lui. Les Ateliers de Construction Œrlikon ont opéré une série d'essais sur la chute de tension dans les rails pour des fréquences entre 0 et 60 périodes, avec des intensités de 50 à 100 ampères. A partir de la fréquence de 16 périodes environ, la résistance des rails augmente jusqu'au triple de la valeur qu'elle aurait dans le cas du courant continu; en comparaison avec un fil de cuivre, la résistance des rails est jusqu'à $3 \times 9 = 27$ fois supérieure à la résistance ohmique d'un fil de cuivre de la même section. Pour une voie de 70 kg par mètre environ, la perte en tension correspondante pour une ligne de 40 km pour un courant de 90 ampères se monte à :

$$400 \, \frac{0{,}0166 \times 100}{\frac{700}{7{,}6} \times 100} \times 3 \times 9 \times 90 = 180 \text{ volts environ}$$

et, en négligeant le décalage dans les rails, la perte en énergie sera 16 400 watts = 1,4 p. 100.

En général dans un district de 40 km à partir du point d'alimentation se trouvent plus de deux trains à la fois. Nous croyons cependant que l'hypothèse de deux trains en chacun des trois points situés aux kilomètres 20, 40 et 60 représente une charge assez défavorable de la ligne; cette charge correspondrait peut être en réalité à un nombre double de trains en tenant compte de la diminution du poids des trains réels, par rapport à ceux considérés et des pentes en descente. Dans cette hypothèse, pour la simplicité du calcul, nous considérons 2 fils de 8 mm de diamètre pour chaque district de 20 km; les pertes se montent alors à :

| DISTRICT | NOMBRE des fils de 8 mm | PERTES dans les fils de cuivre | | | PERTES DANS LES RAILS — Ligne à voie unique | | PERTES DANS LES RAILS — Ligne à deux voies | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kw. | volts. | amp. | kw. | volts | kw. | volts |
| 0 à 20 km . . . . . . . . . | 6 | 81 | 300 | 270 | 73 | 270 | 37 | 135 |
| 20 à 40 » . . . . . . . . . | 4 | 54 | 300 | 180 | 32 | 180 | 16 | 90 |
| 40 à 60 » . . . . . . . . . | 2 | 27 | 300 | 90 | 8 | 90 | 4 | 45 |
| Total. . . . . | | 162 | 900 | — | 113 | 540 | 57 | 270 |

c'est-à dire en tout 219 kilowatts de perte sur $6 \times 565 + 220$ kilowatts, ou 6,1 p. 100 de l'énergie délivrée au point d'alimentation de la ligne de contact.

Supposons une tension de 14 000 volts au kilomètre 40 de la ligne de contact; la tension initiale pour une ligne à double voie devra être de $14\,000 + 600 + 225 = 14\,825$ volts.

La tension au kilomètre 60 est alors $= 14\,825 - 900 - 270 = 13\,655$ volts; et la chute totale de tension sur 60 km

ici les facteurs importants, ainsi que la considération de la sécurité pour l'isolatiou de la ligne et des machines. Jusqu'à plus ample informé, la tension de 15 000 volts paraît être la plus élevée qui soit propice, pour être engendrée avec sécurité et sans mesures très spéciales, directement aux machines et transformateurs. Pour cette tension on peut encore obtenir une isolation suffisante au moyen d'isolateurs avantageux au point de vue mécanique et au point de vue de leur fabrication.

Le problème consiste donc à construire une ligne de contact et un appareil de prise de courant, permettant le service sous des tensions de l'ordre de grandeur de 15 000 volts.

Nous ferons maintenant ressortir le fait que cette unipolarité même de la ligne de contact permet dans certains cas l'alimentation à basse tension, comme par exemple dans les stations de grande importance. On peut ainsi se représenter une station équipée avec troisième rail comme rail de contact pour courant à 700 volts, pendant que les districts découverts de la ligne travaillent avec une ligne de contact aérienne de 15 000 volts. On peut ainsi utiliser la conduite à basse tension aussi bien que celle à haute tension, au moyen de deux appareils de prise de courant, par exemple avec des patins et un archet de contact; il faut alors seulement que les circuits correspondants des véhicules, de la voie et de la ligne de contact soient branchés sur les transformateurs de tension convenables.

Il semble tout indiqué de fixer les conducteurs d'amenée à haute tension par des fils tendeurs entre des poteaux disposés de chaque côté de la voie, en reliant les fils tendeurs eux-mêmes à des isolateurs de haute tension. Une ligne ainsi construite peut sans aucun doute être suffisamment isolée pour de très hautes tensions. On peut utiliser l'archet de contact bien connu, dont le montage isolé sur le toit du véhicule ne présente aucune difficulté spéciale; la question des aiguillages aériens, si complexe avec le courant triphasé, disparaît dès lors et il semble naturel de revenir à la solution du problème des aiguillages telle qu'elle est donnée dans les tramways à courant continu.

Nous reviendrons dans la suite sur le conflit qui doit naître ici avec les prescriptions de sécurité actuelles.

L'unipolarité de la ligne de contact permet du reste une forme de construction tout à fait spéciale, qui, au point de vue de la sécurité, doit se distinguer à plusieurs points de vue des lignes aériennes ordinaires.

---

dans les hypothèses précédentes est de 1 170 volts sur 14 825, soit 7,85 p. 100; c'est-à-dire, en chiffres ronds et en ajoutant une chute additionnelle pour autres causes, de 10 p. 100.

Cette valeur est considérablement inférieure à celle calculée et atteinte avec l'amenée de courant par troisième rail, soit avec courant continu, soit avec courant triphasé et sous une tension inférieure à 1 000 volts, même avec des distances trois fois moindres que celles de notre hypothèse, car les pertes diminuent dans un rapport inverse de la valeur du carré de la tension choisie.

La quantité de cuivre calculée pour la ligne se monte à :

$$(20 + 40 + 60)\, 2 \times 450 \text{ kg} = 108 \text{ tonnes}$$

et pour les connexions des rails de 12 mètres de longueur à :

$$\frac{60\,000}{12} \times 4 \times 1 \text{ kg} = 20 \text{ tonnes.}$$

En ajoutant 20 p. 100 pour les voies des stations, nous obtenons, pour une ligne à double voie de 60 km, avec les faibles pertes calculées ci-dessus, environ 150 tonnes de cuivre, soit 2 500 kg par kilomètre.

On démontre ainsi que l'alimentation de lignes de grande longueur est possible avec de faibles pertes par l'emploi des tensions très élevées. Dans les hypothèses précédentes, les points d'alimentation étaient situés à des distances de $2 \times 60 = 120$ km. On reconnait que la charge des stations centrales se régularise d'une façon complète et qu'on n'aurait ici aucune sous-station de transformation périodiquement inactive, ni totalement ou partiellement en marche à vide.

III. — La fixation de la conduite d'alimentation à des fils de suspension présente certains inconvénients qui prédominent dans les réseaux à haute tension plus que dans ceux à faible tension. On ne peut certes pas nier que la ligne de contact ne soit la partie la plus délicate d'une installation de chemins de fer électriques et il n'est pas admissible que la sécurité du trafic dépende en quelque sorte d'un seul fil. Se basant sur cette considération, les Ateliers de construction Oerlikon ont étudié un nouveau système de conduite aérienne et de prise de courant pour courant alternatif qui, sans augmenter démesurément les frais d'installation assure une réelle réserve dans la conduite d'amenée. Ce système peut parfaitement s'appliquer au courant continu, mais offre un intérêt spécial pour le courant alternatif à haute tension.

Nous ne pouvons pas entrer dans tous les détails de la suspension du fil de contact; ils sont mentionnés dans la description jointe aux demandes de brevet. Du reste la description succincte ci-dessous (1) suffit pour démontrer que :

La prise de courant peut se faire si la barre de contact est soit horizontale et au-dessus

(1) La ligne de contact proposée par les Ateliers de construction Œrlikon est disposée à côté de la voie, à une hauteur appropriée et en dehors du profil de la voiture. Le fil de contact est tenu par des pièces semblables à celles employées pour les conduites de prise de courant par trôlets ; mais au lieu d'être maintenu supérieurement, le fil sera supporté inférieurement ou latéralement. Les tenons sont fixés au moyen de capes ou de griffes et de courts bras de support sur des isolateurs à haute tension.

La prise de courant s'effectue par l'intermédiaire d'une barre conductrice mobile dans un plan perpendiculaire à la direction de la voie et autour d'un axe disposé à la partie inférieure de la barre ; cet axe est lui-même parallèle à la direction de la voie. A l'origine, le mouvement principal de cet axe devait consister en un déplacement automatique dans le sens vertical. Ce déplacement se faisait par des buttoirs, des rails de guidage ou bien au moyen d'appareils, fermant et ouvrant le courant, établis le long de la voie et de mécanismes avec enclenchement et déclenchement qui faisaient dériver le mouvement pour le déplacement de l'axe depuis l'un des essieux de la voiture. Mais on arriva à trouver, pour l'axe de la barre de prise de courant, une position qui permet d'éviter ces dispositions pour son déplacement dans la plupart des cas. Cet organe de prise de courant, que l'on désigne sous le nom de « barre de contact », est pressé contre la conduite par un ressort, de sorte qu'elle peut toujours appuyer contre la conduite et en suivre les déviations verticales et horizontales. Grâce à cette construction, la barre de contact peut décrire un demi-cercle et le fil de contact peut occuper indifféremment tous les points à l'intérieur du demi-cercle décrit par la barre de prise de courant, en retranchant toutefois de cette surface le jeu extérieur et intérieur nécessaire à la barre.

En général, on pourra éviter les fils de suspension et établir des deux côtés de la voie des fils d'alimentation indépendants et avoir sur chacun d'eux une barre de prise de courant. Le second fil peut être employé pour l'amenée régulière du courant ou servir de réserve seulement, et n'entrer en fonction qu'en cas d'interruption du courant sur la première conduite.

Les interrupteurs, placés de distance en distance, permettent d'isoler certains secteurs du circuit du réseau. Il est recommandable de placer, sur ces secteurs, des appareils de contrôle qui permettent de vérifier à chaque instant l'état du réseau. Nous sommes d'avis que ces appareils auxiliaires sont indispensables pour tout réseau dont on exige un fonctionnement sûr et ininterrompu ; il n'est pas admissible de se fier seulement aux isolateurs.

La barre de prise de courant système Œrlikon présente une convexité du côté du fil de contact ; cette disposition permet de résoudre simplement la question des croisements et des aiguillages. Avant et après une aiguille, on déplace le fil de contact vers le milieu de la voie, de telle sorte que la barre de prise de courant soit suffisamment baissée pour que sa partie convexe ait pris la position d'un archet de contact ordinaire. Dans cette position, la barre de prise de courant pourra traverser une combinaison quelconque d'aiguilles aériennes, toutes étant disposées de même façon que celles pour prise de courant par archet.

Grâce à la disposition de prise de courant système Œrlikon, un large jeu est admissible pour la position du fil de contact, et la disposition s'adapte facilement à tous les profils. De plus, ce système rend possible, dans de grandes stations, le passage sans interruption d'un réseau à fil latéral à haute tension à un réseau à fil suspendu ordinairement à basse tension.

Nous devons renoncer à donner ici de plus amples détails et nous nous bornons à citer encore une disposition qui est de quelque intérêt. Les Ateliers de construction Œrlikon ont prévu, pour la conduite à haute tension par rapport à la terre, une isolation double présentant cette particularité que la seconde isolation, la plus rapprochée de la terre, est en court-circuit avec un fusible branché sur le fil de terre. Ce fusible est, de plus, relié mécaniquement à une boule blanche ou à un disque de signal. Dès que la première isolation fait défaut, le fusible fond et la boule ou le disque prend une position visible ou se déplace le long du poteau de support, ce qui rend attentif le personnel de surveillance de la voie ou celui des trains. On peut aussi placer dans chaque secteur des fils pour le contrôle de l'isolation.

du fil d'alimentation, soit oblique, soit même verticale et à côté du fil. La possibilité de la prise de courant au-dessus du fil est importante, vu qu'elle permet d'appliquer aux passages de routes des dispositifs qui empêchent d'atteindre la conduite. Partout où l'espace extérieur du profil de la voiture est limité dans le sens latéral, on peut déplacer le fil de contact du côté de l'axe de la voie au moyen de fils de suspension ou de supports.

Quant à la conduite de retour, elle sera formée en majeure partie par les rails qui devront être munis de jonctions soigneusement exécutées. Pour protéger les réseaux à basse tension voisins, on appliquera plusieurs dispositions spéciales. Etant données les grandes distances à franchir, il se produira nécessairement d'importantes chutes de potentiel, qui, toutefois, peuvent être compensées en grande partie par des transformateurs dévolteurs. D'autre part, les installations de signaux et télégraphes pour le service des chemins de fer, sans l'utilisation de la terre pour le retour du courant n'entraînerait qu'une faible augmentation de prix.

Il est impossible de fixer d'avance jusqu'à quel point les chutes de tension qui, sur de longues lignes, ne peuvent pas être compensées par les transformateurs-dévolteurs, peuvent influencer d'autres lignes plus éloignées ; il faut attendre, pour s'en rendre compte, les expériences que l'on pourra faire sur une ligne d'une certaine étendue.

Il va sans dire que les dispositions proposées sont en contravention avec les prescriptions existantes. Toutefois, cette considération ne peut faire échouer l'emploi d'un système qui promet pour la traction électrique une solution économique et simple. Après avoir appliqué tous les dispositifs de sécurité, il faudra comparer les dangers persistants à ceux qui, malgré les prescriptions existantes, adhèrent encore aux systèmes en usage. Nous sommes persuadés que cette comparaison prouvera la possibilité d'employer de très hautes tensions dans la ligne de contact. La prise de courant système Oerlikon, telle qu'elle a été décrite plus haut, contribuera certainement dans une large mesure à résoudre ce problème, car avec ce système le fil de contact peut être très solidement fixé et il est soumis à un effort mécanique beaucoup moins grand que celui inhérent aux autres systèmes de prise de courant.

Les Ateliers de construction Oerlikon ont fait breveter aussi un dispositif des plus simples, peu coûteux et très efficace, qui doit protéger les voitures, surtout celles pour voyageurs, lors d'un contact accidentel de celles-ci avec un fil à haute tension rompu. Ce dispositif consiste en une espèce de grillage entourant la voiture et se composant d'un système de barres métalliques reliées à la terre. Si ces barres sont suffisamment rapprochées, disons de deux mètres, et à distance appropriée de la voiture, chaque fil qui peut toucher la voiture est mis en connexion avec la terre. Ce grillage est fixé aux longerons du truc.

Nous avons vu dans ce qui précède l'utilité d'une tension très élevée dans le fil de contact et montré que la disposition de fixation du fil et la prise de courant système Oerlikon présentent des constructions très appropriées pour les hautes tensions. Il nous reste encore à parler des locomotives et des voitures automotrices.

Nous ferons remarquer tout de suite que le principe essentiel de la locomotive avec groupe moteur-générateur n'est pas l'utilisation du courant continu pour l'alimentation des moteurs (ou locomoteurs, suivant une expression qui tend à se répandre), ni par suite un mode spécial du réglage de la vitesse, qui peut se faire par exemple suivant les idées de Ward Leonard ; mais son caractère principal consiste dans le fait qu'on alimente la locomotive directement par du courant alternatif monophasé à haute tension. Ce courant produit tout d'abord une certaine énergie mécanique que nous employons à la génération d'un courant quelconque pour actionner les locomoteurs.

***

On pourrait tout aussi bien produire sur la locomotive des courants triphasés et nous mentionnons à ce propos, sans citer de nom, qu'à l'époque de l'introduction des courants triphasés une maison allemande a fait la proposition de transformer en courants triphasés le courant continu amené aux voitures de tramway et d'employer ces courants triphasés pour actionner les locomoteurs.

Nous sommes d'avis toutefois que pour les chemins de fer en général (les chemins de fer à grande vitesse et les chemins de fer de montagne à crémaillère exceptés), l'emploi d'un autre courant que le continu pour l'alimentation des locomoteurs est une erreur [1].

Nous ne pouvons entrer ici dans tous les détails de disposition ; cela nous conduirait trop loin. Aussi nous bornerons-nous à faire ressortir quelques points, d'un intérêt particulier et entièrement pratique, en relation avec la production de courant continu sur la locomotive.

Le circuit du courant continu n'est pas relié à la terre, ce qui fait que l'isolation entre les locomoteurs et la terre est beaucoup moins exposée que dans le cas des moteurs de tramways.

Outre les moteurs de la locomotive, on peut brancher sur le même circuit d'autres locomoteurs se trouvant en dehors de la locomotive, sur des voitures par exemple. Tous les moteurs sont réglés depuis la locomotive. Par cette disposition, on arrive à augmenter la puissance d'adhésion du train, ce qui, sur des trajets à fortes rampes et mauvais état des rails, peut rendre des services. De plus, si l'on adopte pour le courant des moteurs sur notre locomotive les tensions normales en usage pour les tramways et les chemins de fer secondaires, on peut connecter avec notre locomotive toutes les voitures motrices et locomotives de chemins de fer secondaires disposées pour la même tension du courant continu, avec une simple modification de leurs controllers et résistances normales. Un grand nombre d'autres combinaisons possibles sont mentionnées, *pour la plupart*, dans la conférence de MM. W. M. Mordey et B. Jenkin, que nous avons déjà citée plus haut.

Un autre point important est que les locomotives avec moteur-générateur pour faibles puissances, c'est-à-dire jusqu'à 200 chevaux, peuvent aussi tenir lieu de voitures motrices, car le mécanisme n'y occupera qu'un tiers de la surface totale du véhicule.

C'est une erreur de croire que la locomotive avec un groupe moteur-générateur augmente dans une proportion démesurée le poids du train et que les voitures automotrices sans convertisseur ont un poids mort beaucoup plus réduit. La locomotive mentionnée

[1] Ni le réglage du couple moteur au moyen de résistances dans le rotor des moteurs à induction, ni la connexion en cascade, pour ne pas parler de l'emploi de moteurs à plusieurs vitesses ne remplissent, au double point de vue de l'économie et d'une exacte variation de vitesse, les conditions exigées par le service ordinaire et encore moins par le service des marchandises.

Or la traction électrique ne doit pas être inférieure à celle à vapeur, et comme on ne pourra certainement jamais écarter complètement le danger des interruptions possibles, danger qui est inhérent à tout réseau étendu, il faut, pour que la traction électrique malgré ce désavantage trouve une application générale dans un avenir prochain, que sur tous les autres points elle soit plus avantageuse comparée à la traction à vapeur.

Tout système permettant le réglage à volonté ou automatique de la tension du courant continu alimentant les locomoteurs constituera une solution très favorable de la question de réglage de la vitesse. On peut en effet, dans ce cas, appliquer toutes données expérimentales fournies par les installations stationnaires à l'installation à courant continu disposée sur la locomotive. Par un compoundage spécial des moteurs et des générateurs, par une combinaison appropriée des organes qui influent sur la valeur du champ magnétique, etc., on peut arriver à une solution qui permette un réglage pour ainsi dire automatique et des plus économiques de la vitesse, surtout pour le démarrage et le freinage. Avec aucun des systèmes qui emploient une tension constante aux bornes des locomoteurs, on n'est arrivé à résoudre économiquement le problème primordial consistant à développer un grand couple moteur avec une faible vitesse. Tous ces systèmes présentent les inconvénients connus des brusques et fortes variations dans la consommation de l'énergie qui augmentent beaucoup la force motrice nécessaire et exigent une grande capacité des stations génératrices.

plus haut, qui est en construction dans les Ateliers de construction Oerlikon et qui développe, à une vitesse de 35 à 40 km, une force de traction de 5 000 kg au crochet, a un poids qui se décompose comme suit :

| | | |
|---|---|---|
| Voiture | environ | 15 000 kg. |
| Groupe moteur générateur avec excitatrice | — | 16 000 kg. |
| Régulateur, conduites et dispositif de prise de courant | — | 1 000 kg. |
| Dispositif de freinage | — | 1 000 kg. |
| Locomoteurs | — | 11 000 kg. |
| Total | environ | 44 000 kg. |

Si nous établissons maintenant une comparaison avec la traction à courants triphasés, en admettant la même tension, même périodicité, ainsi que le même poids utile pour la même pente, même vitesse et même quantité de cuivre dans les deux cas, nous obtenons pour tous deux un résultat presque égal, malgré le plus grand poids de la locomotive avec groupe moteur-générateur [1].

---

[1] Pour la traction par courants triphasés, on pourrait remplacer notre locomotive de 44 tonnes par un poids d'environ 30 tonnes, réparti sur une ou deux voitures, pour les moteurs à courants triphasés avec leurs transformateurs et résistances.

Dans notre système, admettons pour le poids total du train 250 tonnes, auquel correspond un poids utile de 206 tonnes. Le rendement total étant de 75 p. 100 et le facteur de puissance 0,9, ce train marchant à une vitesse de 40 km sur une rampe de 10 p. 100, absorbera un courant de 45 ampères, la tension étant de 14 000 volts, ce courant arrive par une ligne aérienne simple et retourne par les rails.

Pour la traction directe par courants triphasés avec des moteurs à courants triphasés et transformateurs que nous supposons être disposés dans une ou deux voitures du même train, le poids total est $206 + 30$ tonnnes $= 236$ tonnes. Admettons un rendement total 80 p. 100, et un facteur de puissance égal à 0,9. Dans ces hypothèses, les autres conditions étant les mêmes que dans le cas précédent, et la tension composée 14 000 volts, la traction de ce train exigera dans chacun des trois conducteurs de phase un courant de 23,0 ampères, courant qui circule dans deux conducteurs aériens isolés l'un de l'autre et dans les rails servant de conducteur de retour.

Or si on établit la conduite de contact pour les courants triphasés avec la même dépense de cuivre que pour la ligne unipolaire pour le service avec la locomotive avec moteur générateur, c'est-à-dire chacune des conduites de contact ayant une section égale à la moitié de la section du fil pour le courant monophasé, la perte d'énergie dans la conduite en cuivre sera pour le courant triphasé de 4 p. 100 plus grande que dans le cas de la locomotive avec groupe moteur générateur, le poids utile du train étant le même, c'est-à-dire 206 tonnes.

En effet, si nous désignons par $r$ la résistance du conducteur aérien pour le courant monophasé de 45 ampères. la résistance de chaque conducteur aérien de phase pour le courant triphasé traversé par 23,0 ampères sera $2\,r$.

La perte d'énergie dans le premier cas sera $45^2 . r = 2025\,r$, dans le second cas $2 . 2 . r . 23{,}0^2 = 2116\,r$.

Si nous admettons que la perte dans les rails pour le courant monophasé est environ le tiers de la perte dans le cuivre, la perte dans les rails sera alors pour les courants triphasés 1/12 de la perte dans le cuivre, car le courant dans les rails est dans le premier cas 45 ampères, dans le second 23 ampères. D'après ce qui précède on voit que si la perte totale d'énergie dans le cuivre et les rails pour le cas de la locomotive avec groupe moteur générateur est égale à 10 p. 100 de l'énergie amenée, cette perte sera de 8,8 p. 100 pour une même énergie amenée pour le cas des courants triphasés.

D'autre part l'énergie nécessaire au train de 206 tonnes de poids utile est plus faible dans le cas des courants triphasés que dans celui de la locomotive avec groupe moteur générateur et cette différence est dans le rapport des poids totaux des trains et des rendements totaux, donc dans le rapport de :

$$\frac{236 \;.\; 0{,}75}{250 \;.\; 0{,}8} = 0{,}885.$$

c'est-à-dire de 12 p. 100 plus petite pour le triphasé.

Si l'on ajoute à cette différence la différence de la perte d'énergie totale dans le réseau pour une même dépense de cuivre qui, on vient de le voir, n'est, dans le cas du courant triphasé, que de 1,2 p. 100 plus faible que celle qui se produit dans le cas de la locomotive avec groupe moteur générateur, on trouve que la différence dans l'énergie consommée dans les deux cas est d'environ 13 p. 100.

Mais il y a lieu de remarquer que dans le cas des courants triphasés la même quantité de cuivre est à répartir sur deux conducteurs qui sont à isoler l'un de l'autre et de la terre, tandis que dans le cas du courant monophasé on n'a à installer qu'un seul conducteur qui est à isoler de la terre. De plus avec notre locomotive on réalise une

A notre avis, un réseau de contacts pour courants triphasés de 15000 volts ou seulement de 10 000 volts qui doit s'adapter au profil d'une installation existante et qui doit permettre l'établissement de croisements, aiguillages et bifurcations, ne peut pas, malgré les essais de Berlin-Zossen, trouver une application générale. Il serait intéressant de savoir comment, sur la ligne de Berlin-Zossen, il faut se représenter, géométriquement seulement et sans aborder les détails techniques, une aiguille aérienne, et comment, avec ce système, on peut franchir les difficultés de profil.* Et même, si on arrivait à amener à la locomotive des courants triphasés de 15 000 volts, la faible différence de rendement, au désavantage de la locomotive avec groupe convertisseur, nous paraît largement compensée par la simplicité du dispositif de prise de courant sur un seul conducteur et les avantages au point de vue constructif qui se rattachent à ce système.

En outre, avec ce dernier système, il est possible de régler la vitesse d'une manière beaucoup plus parfaite et de rendre de l'énergie au réseau par le freinage électrique, non seulement lorsque la vitesse dépasse la normale, mais pour toutes les vitesses comprises entre de larges limites.

D'un autre côté, le système avec locomotive que nous préconisons présente encore les avantages suivants que les voitures automotrices n'ont pas :

Le danger direct ou indirect que présente, pour les voyageurs, le mécanisme électrique, est autant que possible écarté.

On peut, dans la construction de la locomotive, exclure toute matière combustible.

Toute la partie électrique est complètement sous la surveillance du mécanicien et, pour peu que la construction soit bien comprise, les différentes parties de l'équipement seront accessibles aussi pendant la marche ; on pourra les exposer aux plus grandes surcharges ou les ménager pour obtenir une plus longue durée de service.

On évite avec ces locomotives les pertes de temps occasionnées par le chargement et la mise en train.

La séparation du matériel en locomotives et voitures simples facilite la combinaison des trains, l'organisation du service et l'entretien.

Ceci n'exclut pas l'emploi des voitures automotrices pour le trafic local, ni d'un certain nombre de voitures motrices pouvant être branchées sur le réseau d'une sous-station munie de convertisseurs et enfin rien n'empêche d'employer le courant continu sur les lignes secondaires sur lesquelles ne circulent que des trains légers ou des voitures automotrices. On peut même employer des locomotives avec groupe moteur générateur placées aux points appropriés pour alimenter les réseaux à courant continu des voies secondaires.

Dans ce qui précède, nous croyons avoir donné un aperçu suffisant du système de traction étudié par les Ateliers de construction Oerlikon, système qui est prêt à être mis à exécution et dont les bases essentielles sont : la haute tension, le faible courant et l'unipolarité du conducteur d'amenée pour faciliter la prise de courant et par conséquent le contact; l'emploi de courant alternatif monophasé, la disposition de la conduite d'amenée latéralement à la voie, la conduite étant supportée inférieurement ou latéralement, et non suspendue ; la prise de courant au moyen d'une barre permettant un large jeu dans la position du fil de contact ; enfin, passage du courant à haute tension à celui à basse tension, dans les stations de quelque importance, sans interruption de courant.

---

importante économie d'énergie lors du démarrage et on pourrait augmenter d'au moins 5 p. 100 le facteur de puissance en employant un moteur synchrone sur la locomotive. Enfin pour de grands poids des trains et de faibles pertes dans les conduites, la différence en centièmes de l'énergie consommée dans les deux cas diminue.

Les avantages que nous avons cherché à faire ressortir sont : La locomotive électrique est à même de prendre la place de la locomotive à vapeur sans changer sensiblement l'organisation actuelle du service; de plus, par l'installation d'un groupe moteur générateur sur la locomotive même, elle satisfait à la condition d'une force d'adhésion suffisante; et nous nous trouvons obtenir, par le fait même, le grand avantage d'un réglage du couple moteur sans interruptions et sans résistances dans le circuit du courant des locomoteurs.

On se persuadera facilement, pensons-nous, que, pour que la traction électrique puisse trouver une application générale dans les chemins de fer, des conditions générales favorables étant admises, il faut renoncer à l'idée généralement répandue que l'on pourra décomposer les trains actuels en un certain nombre de voitures motrices et renoncer aussi à l'idée des tramways.

Nous nous réservons de publier plus tard des descriptions plus détaillées, des dessins de différentes parties de l'installation, ainsi qu'une application de ce système au chemin de fer du Gothard, pour prouver que les dimensions nécessaires pour un pareil réseau restent dans des limites tout à fait accessibles et que le passage successif de la traction à vapeur à la traction électrique est possible, tant au point de vue technique qu'au point de vue financier.

E. Huber,
Ingénieur, Directeur des Ateliers de construction d'Oerlikon.

## FONCTIONNEMENT COMPARÉ
# DES MACHINES A VAPEUR ET DES MOTEURS A GAZ

Dans le précédent article (¹) nous avons examiné deux des parties que nous nous proposons d'étudier : le prix de revient du cheval-heure effectif de la sécurité de fonctionnement; dans celui-ci nous envisagerons les deux dernières : la régularité de marche et la consommation d'eau.

III. — Régularité de marche. — Le premier critérium de la régularité de marche d'un moteur est fourni par l'observation du nombre de révolutions effectuées par minute, dans les relations les plus variées de la puissance du moteur et de la résistance des appareils qu'il conduit. Les conditions à réaliser sont généralement spécifiées par les contrats de fourniture, de la manière qui suit : « La vitesse moyenne de rotation à vide ne sera pas supérieure de plus de 1 p. 100 à ce qu'elle est à pleine charge. » Cette clause, qui n'est réalisée que par d'excellentes machines motrices, ne fait pas état des variations de pression de la vapeur, ni de celles du pouvoir calorifique du gaz tonnant; elle suppose seulement que l'un et l'autre resteront suffisants pour vaincre les résistances propres du moteur et des transmissions qu'il traîne avec lui. La constance de la vitesse moyenne est obtenue, malgré ces variations de la qualité du fluide moteur, par l'action d'un régulateur qui maintient la pression à une valeur déterminée par laminage, en agissant sur une valve, ou bien qui proportionne l'afflux de vapeur ou de gaz aux nécessités du moment, en réglant le degré d'admission ou le nombre des admissions. En d'autres termes, le régulateur proportionne

(¹) *L'Eclairage Electrique*, t. XXXI, p. 269, 24 mai 1902. Page 270, ligne 16, s'est glissée une singulière coquille. Il a été imprimé « ..... de la terre » au lieu de « ..... de l'unité de travail ».

exactement l'effort moteur à l'effort résistant, et il réalise ainsi un équilibre uniforme : il faut qu'il agisse promptement et avec précision, sans se laisser influencer par les résistances qu'il doit surmonter pour exercer son action. Ce dernier résultat est obtenu également dans les appareils auxquels on ne demande que le déplacement d'un verrou de forme quelconque, déterminant la durée de l'admission de vapeur ou le nombre des introductions de gaz tonnant. Le volant n'intervient dans la régulation que pour atténuer les variations soudaines produites dans la résistance intérieure, que le régulateur n'aurait pas le temps de corriger ou qu'il ne peut compenser aussitôt, si elles ont lieu dans l'intervalle de deux admissions. C'est un accumulateur d'énergie, qui absorbe et restitue ; sa capacité d'emmagasinement doit être d'autant plus grande que l'intervalle entre deux admissions sera plus long ; aussi faut-il des volants de très grande masse pour les moteurs monocylindriques, à quatre temps, se réglant par admission *de tout ou rien*, exposés à faire 3, 7, 11, quelquefois même 15 courses sans nouvelle impulsion motrice. Le puissant moteur à gaz de hauts fourneaux Cockerill-Delamare est pourvu d'un volant de 5 m de diamètre, faisant 80 tours par minute, pesant 33 tonnes : il peut être considéré comme un moteur de 600 chevaux effectifs, de bonne régularité moyenne. Une machine à vapeur de même puissance, monocylindrique, tournant à la même vitesse, atteindrait la même régularité par un volant de 5 m pesant 10 à 12 tonnes. Il faut donc se résigner à donner plus de masse et une vitesse plus grande aux volants des moteurs à gaz à quatre temps : mais ce n'est qu'une question de fonte On peut d'ailleurs économiser du poids aux jantes en multipliant les cylindres et cette considération n'est pas un des moindres arguments en faveur des moteurs à deux ou quatre cylindres et duplex ou triplex.

A ce prix, le moteur à gaz n'est pas moins régulier que la machine à vapeur, et j'en trouve la preuve décisive dans les nombreux essais que j'ai effectués sur diverses machines de toute construction. J'extrais de mon carnet d'expériences les chiffres ci-dessous, relatifs à un moteur à gaz A monocylindrique de 25 chevaux, marchant au gaz de ville, à un moteur B, alimenté de gaz pauvre, mais sans gazomètre, donc dans des conditions fort ingrates, développant ainsi 40 chevaux par un cylindre moteur, et à une machine à vapeur C de 125 chevaux, du type Corliss, à lame de sabre ; ces nombres représentent les nombres de tours faits en 15 minutes, en marche industrielle, par ces machines. Notons que nous comparons trois moteurs à un seul cylindre.

| HEURES | MACHINES | | | HEURES | MACHINES | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | | A | B | C |
| 0 | | | | 3 | 2 884 | 1 902 | 1 083 |
| 15 | 2 866 | 1 910 | 1 075 | 15 | 2 898 | 1 897 | 1 085 |
| 30 | 2 870 | 1 905 | 1 075 | 30 | 2 890 | 1 913 | 1 087 |
| 45 | 2 872 | 1 910 | 1 077 | 45 | 2 878 | 1 912 | 1 089 |
| 1 | 2 856 | 1 892 | 1 072 | 4 | 2 876 | 1 900 | 1 085 |
| 15 | 2 866 | 1 893 | 1 073 | Nombre moyen de tours | | | |
| 30 | 2 834 | 1 913 | 1 071 | en 15 minutes | 2 874 | 1 905 | 1 079 |
| 45 | 2 866 | 1 916 | 1 074 | Vitesse moyenne : V | 191,6 | 127,0 | 71,9 |
| 2 | 2 880 | 1 906 | 1 077 | Vitesse maximum : $V_{max.}$ | 193,2 | 127,7 | 72,6 |
| 15 | 2 882 | 1 898 | 1 081 | Vitesse minimum : $V_{min.}$ | 188,9 | 126,1 | 71,4 |
| 30 | 2 880 | 1 906 | 1 081 | *Régularité moyenne* en 4 heures — $\frac{2V}{V_{max.} - V_{min.}}$ | = 89,1 | 158,7 | 120,0 |
| 45 | 2 890 | 1 906 | 1 078 | | | | |

Je rapporte ici des résultats courants, obtenus sans préparation spéciale, pour A et C,

en service industriel, avec toutes les variations de puissance et de résistance que le travail comporte en quatre heures ; le moteur B marchait au frein, mais sans gazomètre de compensation. Pour A, la plus forte variation est de 1,4 p. 100 ; pour B, elle est de 0,7 et pour C, de près de 1 p. 100. Ces résultats peuvent être considérés comme équivalents dans l'espèce.

L'essai suivant, que j'ai fait en 1898, sur le premier moteur Cockerill-Delamare, de 200 chevaux, accolé aux hauts fourneaux de Seraing, chargé au frein, fournit un autre document, qui confirme ceux qui précèdent. Les tours sont rapportés à la demi-heure.

| HEURES | TOURS | ADMISSIONS | CHARGE NETTE du frein. | HEURES | TOURS | ADMISSIONS | CHARGE NETTE du frein. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 h. 30 m. . . | 3 074 | 1 360 | 1 605,5 | 18 h. . . . . | 3 094 | 1 370 | 1 632 |
| 15 . . . . | 3 170 | 1 449 | 1 604 | 30 m. . | 3 130 | 1 372 | 1 630 |
| 30. . . . | 3 140 | 1 422 | 1 614,5 | 19 . . . . | 3 144 | 1 366 | 1 629 |
| 16 . . . . | 3 214 | 1 421 | 1 618 | 30. . . . | 3 126 | 1 380 | 1 627 |
| 30. . . . | 3 086 | 1 358 | 1 611 | 20 . . . . | 3 008 | 1 342 | 1 626 |
| 17 . . . . | 3 300 | 1 442 | 1 620 | 30. . . . | 3 152 | 1 399 | 1 624 |
| 30. . . . | 3 146 | 1 394 | 1 621 | | | | |

Nombre moyen de tours. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 3 134,92
— d'admissions . . . . . . . . . . . . . . . . 1 390,38
Vitesse moyenne . . . . . . . . . . . . . . . 104,50 tours par minute.
— maximum. . . . . . . . . . . . . . . 110 —
— minimum. . . . . . . . . . . . . . . 100,27 —

$$\textit{Régularité moyenne} = \frac{2V}{V_{max.} - V_{min.}} = 89{,}2 \text{ pour 6 heures.}$$

Ce moteur a développé 181 chevaux, en supprimant plus du dixième de ses admissions ; il a démontré qu'il possédait l'élasticité nécessaire à une bonne marche d'atelier. Un enregistreur Richard a tracé une courbe très belle, comparable à celles qu'on relève sur les machines à vapeur : en voici la reproduction photographique (fig. 1).

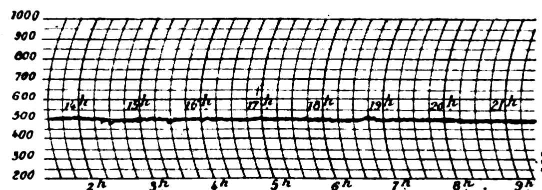


Fig. 1.

Un autre moteur, alimenté de gaz de ville, faisant environ 46 chevaux en pleine charge, par 216 tours, a fourni 218 révolutions, quand on l'a déchargé à 27 chevaux, et 220 quand il a tourné à vide : la différence de 4 tours correspond à une accélération de 1,8 p. 100.

Un autre moteur de 300 chevaux a vu varier sa vitesse de 131 tours, à pleine charge, à 133,63 à demi-charge, la différence étant de 2 p. 100 : c'est un moteur à gaz pauvre, avec gazomètre de 15 m³, soit de 50 litres par cheval, constituant une réserve extrêmement faible [1].

Je pourrais extraire de mon carnet beaucoup d'exemples analogues ; ils établissent le fait que les moteurs à gaz même monocylindriques de bonne construction, admettant *tout ou rien*, mais pourvus de volants de masse suffisante, possèdent une régularité *moyenne* com-

[1] Voir à ce sujet : Expériences sur l'emploi direct des gaz de hauts fourneaux, par A. Witz, dans la *Revue Universelle des Mines*, t. XLII ; et Traité théorique et pratique des Moteurs à gaz et à pétrole, t. III, 3e édition p. 151.

parable à celle des machines à vapeur. Les échecs qu'ont éprouvés certains constructeurs étaient dus à une insuffisance des masses des volants ou bien à un défaut de vitesse, ce qui aboutit au même résultat ; je les ai attribués quelquefois aussi à un défaut de puissance, et ceci m'amène à parler de l'élasticité de puissance des moteurs à gaz.

Un moteur à gaz possède son rendement thermique effectif maximum au voisinage de la charge maximum, c'est-à-dire quand il fait de 85 à 88 admissions pour cent ; ce sont les meilleures conditions de son emploi au double point de vue de sa consommation et de sa régularité : il lui reste alors une marge suffisante pour fournir un coup de collier, si besoin en est [1]. Pour 90 ou 95 admissions pour cent, la consommation augmente généralement par cheval-heure effectif et le moteur se trouve bientôt à bout de puissance ; sa régularité moyenne en souffre. Ce sont là des résultats pratiques, que la théorie expérimentale explique sans peine : ils devraient servir de base à tous les marchés ; c'est pour les avoir méconnus, que certains constructeurs ont subi de fâcheux laissés pour compte. Lors d'un arbitrage que je faisais il y a quelques années sur une grandiose installation de sept moteurs de 100 chevaux, ces machines furent refusées pour leur puissance nominale et acceptées pour les deux tiers de cette puissance ; les moteurs étaient surmenés quand ils développaient 100 chevaux, mais ils marchaient bien au régime de 65 chevaux.

La pauvreté relative du gaz servi au moteur aggrave souvent les cas d'insuffisance, mais elle ne les excuse pas, car il faut les prévoir : les gaz de ville ont des pouvoirs qui oscillent de 4 800 à 5 900 calories par mètre cube à 0° et 760 mm de pression. C'est une variation totale de 20 p. 100 ; la différence en moins est de 8 p. 100 relativement au pouvoir moyen de 5 250 calories. Un constructeur sage et prudent se garde contre tous ces aléas en calculant largement ses moteurs et en leur donnant l'élasticité dont ils ont absolument besoin : il laisse à ses concurrents de troisième ordre la pratique condamnable de vendre pour 10 chevaux un moteur qui devient haletant à 8 chevaux, pour peu que le gaz perde un peu de sa richesse, et qui ne supporte en tous cas sa pleine charge avec le gaz le plus riche que durant un quart d'heure au plus. Mais nous touchons ici à une question d'honnêteté commerciale, que nous ne voulons pas envisager plus longuement.

En somme, le moteur à gaz, calculé avec largeur et installé dans les conditions voulues, convient aux industries qui exigent la plus grande régularité moyenne ; pour la commande des dynamos à lumière, à courant continu, il suffit d'augmenter la masse des volants et d'accélérer la vitesse ou de multiplier les cylindres pour obtenir une lumière très fixe, à voltage constant quel que soit le débit, sans qu'il soit même besoin de recourir au concours d'une coûteuse batterie d'accumulateurs.

Tous les constructeurs possèdent aujourd'hui ces types spéciaux, faisant de 200 à 300 tours, pourvus généralement de deux volants et marchant à deux cylindres, à partir de 50 chevaux.

De nombreuses stations centrales sont actionnées par des moteurs à gaz en France et à l'étranger et elles fonctionnent parfaitement.

Le développement de l'emploi des alternateurs est venu toutefois limiter l'introduction des moteurs dans les stations centrales ; c'est qu'en effet l'accouplement en parallèle de ces alternateurs n'est possible qu'avec des moteurs possédant un coefficient de régularité par tour extrêmement élevé par suite des mouvements périodiques qui se produisent et

(1) On se contente généralement de cette marge ; mais il faut reconnaître qu'elle est trop étroite si on la compare à celle des machines à vapeur dont la puissance peut subir des variations énormes. De fait, ces dernières sont beaucoup plus élastiques que les moteurs à gaz.

des harmoniques qui s'ajoutent aux ondes fondamentales dans les réseaux de distribution. Les électriciens demandent aujourd'hui à être fixés sur les variations de la vitesse angulaire pendant un tour, et sur l'écart maximum entre les positions d'une manivelle idéale tournant d'un mouvement uniforme et de la manivelle réelle du moteur. Ces deux quantités sont fonction l'une de l'autre ; elles dépendent de ce que l'on appelle la régularité *cyclique* des moteurs.

Il est évident que, dans un moteur à quatre temps à un cylindre, la vitesse angulaire subirait des variations considérables dans les quatre temps du cycle, si le volant n'intervenait énergiquement pour les effacer : les travaux anciens déjà [1] de MM. Ransom, Duveau, etc., ont permis de mesurer la diminution de vitesse angulaire qui coïncide avec l'achèvement du temps de compression et l'augmentation produite aussitôt après par la poussée explosive. Le tableau ci-dessous, dressé par M. Ransom, permet de juger de ces écarts de vitesse produits dans les deux sens ; il s'agit de moteurs de construction relativement ancienne.

| PUISSANCE | NOMBRE de volants. | POIDS RÉDUIT des volants. | V | $V_{max.}$ | $V_{min.}$ | DIFFÉRENCES brute. | DIFFÉRENCES p. 100. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kg | | | | | |
| 2 HP | 2 | 210 | 150,8 | 156,65 | 147,55 | 9,075 | 6,02 |
| 2 HP | 2 | 334 | 178,8 | 180,65 | 175,43 | 5,230 | 2,92 |
| 4 HP | 2 | 257 | 142,5 | 145,97 | 138,16 | 7,811 | 5,48 |
| 4 HP | 1 | 129 | 142,4 | 149,45 | 133,40 | 16,05 | 11,27 |
| 4 HP | 2 | 3 220 | 238,1 | 240,5 | 236,6 | 3,83 | 1,61 |
| 10 HP | 1 | 1 610 | 250,2 | 253,8 | 247,8 | 5,92 | 2,37 |

Les coefficients de régularité $R = \frac{2V}{V_{max} - V_{min}}$ par tour prennent les valeurs suivantes ; 17,7 pour le cas le plus défavorable ; 84,8 pour le cas le plus remarquable. Ces valeurs ne sont qu'approchées, mais elles constituent une indication générale ; plusieurs de ces moteurs présentaient une trop grande irrégularité ; les électriciens demandent en effet pour R des valeurs égales à 75, quand il s'agit d'une commande de dynamos à lumière à courant continu et ils réclament plus de 250, pour les alternateurs accouplés. La machine Dujardin de 1 500 chevaux indiqués, faisant 75 tours, actionnant un alternateur à 50 périodes, à faible réaction, aurait en accélération ou ralentissement une régularité égale à 427 ou 540, correspondante à 0°,067 et 0°,059 pour l'écart $\theta$ [1]. Les moteurs à gaz sont loin encore de cette perfection.

Mais l'expérience a démontré que la variation des vitesses dans le cycle est sensiblement en raison inverse de $\frac{Pw^2}{S}$, P étant le poids réduit du volant (transporté à la jante), $w$ la vitesse du moteur et S la surface de son piston. Or, rien ne met obstacle à ce que l'on donne à ces divers éléments les valeurs nécessaires pour amener R à la valeur demandée par les besoins d'une station d'électricité. Les moteurs à gaz pourront donc être appliqués à la commande des alternateurs accouplés, dans les cas toutefois où le coefficient de régularité sera le seul facteur à envisager : mais je reconnais que l'augmentation de l'inertie du volant

[1] On les trouvera rapportés en divers points des tomes II et III de mon Traité théorique et pratique des Moteurs à gaz et à pétrole.

[1] *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, novembre 1901, p. 552.

pourrait quelquefois créer des difficultés spéciales, parce que les moteurs n'obéiraient plus à l'action des courants de circulation et ne se régleraient plus l'un l'autre. Cette question nous impose de formelles réserves, en attendant que des expériences l'aient mieux élucidée.

Mais un fait est dès maintenant acquis ; il existe des moteurs à gaz qui peuvent, dans des cas déterminés, être utilisés avec succès pour l'accouplement des alternateurs, et la Société suisse pour la construction de machines à Winterthur m'en fournit une preuve décisive, qui constitue un document irréfutable et d'une importance considérable.

Cette société a installé à Embrach, près de Winterthur, trois moteurs à gaz pauvre de 100 chevaux à 160 tours et un moteur de 40 chevaux à 180 tours actionnant chacun par courroie un alternateur triphasé d'Oerlikon ; cette station fournit la puissance motrice à une fabrique de tuyaux en grès et à une fabrique de carreaux en terre cuite et elle transporte 40 chevaux à 3 km. Cette installation a été mise en service en décembre 1900 et elle a fourni depuis lors un service quotidien régulier de onze heures par jour ; mais le plus souvent on n'accouple que deux alternateurs de 100 chevaux. La demande de travail est d'ailleurs très irrégulière et les ampères varient souvent du simple au triple. Les moteurs portent un volant de 3,20 m de diamètre, pesant 10 tonnes ; les tachygrammes relevés (voir fig. 2) sur l'arbre de la dynamo I accouplée avec la dynamo II montrent que la variation des vitesses est en moyenne de 1,2 à 1,3 p. 100. Or, ce degré de régularité suffit pour entretenir la coïncidence des phases, et le fonctionnement de la station a toujours été excellent ; les lampes de phase restent sombres souvent plus de trente secondes.

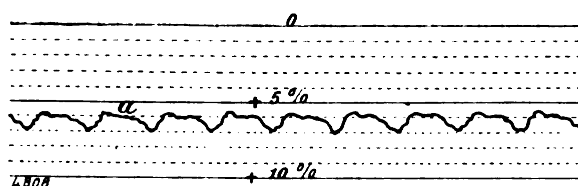


Fig. 2.

Les alternateurs ne se sont découplés qu'une seule fois, au cours d'une expérience dans laquelle on avait, à titre d'essai, embrayé en même temps toutes les presses à argile [1].

Cet exemple n'est pas unique.

La même société a placé, en 1901, à la station centrale de Monbijou, à Berne, un moteur à gaz de 220 chevaux effectifs, à deux cylindres, qui commande par courroie un alternateur triphasé accouplé au réseau existant lequel est alimenté par l'usine hydraulique de Kanderwerk, située à 35 km de Berne ; cette marche en parallèle n'a jamais occasionné aucun trouble dans le réseau. Le degré de régularité du moteur est estimé à 125 ; le moteur fait

---

(1) Les chiffres ci-dessous permettent d'apprécier le fonctionnement de la station d'Embrach :

| | JUIN | JUILLET | AOUT |
|---|---|---|---|
| Ampères-heure totalisés | 77 811 | 81 432 | 83 827 |
| Voltage moyen | 220 | 220 | 220 |
| Kilowatts-heure réels | 20 700 | 21 600 | 22 400 |
| Chevaux-heure effectifs | 32 600 | 34 000 | 35 400 |
| Consommation totale d'anthracite (kg) | 18 638 | 17 187 | 18 136 |
| Consommation par cheval-heure effectif (kg) | 0,572 | 0,505 | 0,513 |

L'anthracite est de provenance belge, fosse Bonne-Espérance, à Herstal.

180 révolutions à la minute. Les brillants résultats obtenus ont amené la commande d'un second moteur identique, qui sera prochainement accouplé au premier.

La Société des Industries Economiques nous a fait connaître aussi une installation qu'elle a mise en marche, depuis plus de deux ans, chez MM. Pellas frères, à Nervi, près de Gênes; deux moteurs Charon de 80 et 100 chevaux y commandent des alternateurs triphasés accouplés avec d'autres alternateurs, commandés les uns par des machines à vapeur, les autres par des moteurs à gaz. Le succès a été complet, nous affirme-t-on.

La compagnie allemande des moteurs Otto de Deutz a appliqué de même plusieurs de ses puissants moteurs à deux et quatre cylindres à la commande d'alternateurs ; MM. Pierson ont placé deux moteurs Crossley à Asnières pour commander des alternateurs triphasés; je suis certain de ces faits, mais l'absence de documents précis me défend d'y insister.

La possibilité de l'accouplement des alternateurs conduits par des moteurs à gaz de ville ou à gaz pauvre, à quatre temps, est donc démontrée. Si les exemples ne sont pas encore nombreux, si quelques essais n'ont pas été heureux, si tous les moteurs ne conviennent pas à ce genre de travail, si enfin la chose ne paraît pas aisée, il n'en est pas moins vrai qu'elle existe, et nous sommes autorisé à dire qu'elle se généralisera rapidement. Avec des moteurs à deux temps, avec des moteurs à double effet, ou polycylindriques alors surtout que le moteur à combustion sera réalisé, l'emploi du gaz sera aussi pratique que celui de la vapeur.

IV. Consommation d'eau. — L'essai que nous avons fait, en 1900, sur des gazogènes Pierson fournissant le gaz pauvre aux moteurs Crossley de la station de tramways électriques de Cassel, près de Dunkerque, nous permet de constater les avantages que présentent les gazogènes en général relativement à la consommation d'eau. Les chiffres que nous allons citer n'ont pas besoin de commentaire.

Cette station de tramway a été construite en un point où la pénurie d'eau avait obligé de renoncer à l'emploi des machines à vapeur, qu'on avait d'abord projetées.

Une citerne en maçonnerie fut construite, d'une capacité de 30 $m^3$ ; elle constituait la réserve et le réfrigérant général d'eau. On lui adjoignit un réservoir métallique de 22 $m^3$, dont on renouvelait l'eau en la puisant à la citerne et en l'y renvoyant à l'aide d'une pompe de circulation : ce réservoir assurait par thermosiphon la réfrigération des cylindres des trois moteurs de 30 chevaux de la station. Le scrubber à coke servant au lavage du gaz était arrosé par un mince filet d'eau, provenant d'un réservoir supérieur, jaugeant 500 litres, dans lequel une petite pompe relevait l'eau après sa décantation dans un bassin de dépôt. L'eau nécessaire à la chaudière des gazogènes était puisée par un injecteur au thermosiphon alimentant les enveloppes des cylindres.

Bref : il n'y a d'eau à fournir que pour compenser les pertes de la circulation, de l'évaporation et de l'alimentation de la chaudière ; pour une production de 125 $m^3$ de gaz par heure, il faut exactement 37,6 litres pour la chaudière et environ le double pour le reste ; soit en tout 120 litres. Or, avec 125 $m^3$ à 1 243 calories, on fait sans peine 50 chevaux effectifs. Il faut donc deux litres et demi par cheval-heure effectif, au maximum.

Une machine à vapeur à échappement libre aurait consommé pour le moins 700 litres d'eau par heure, soit 14 litres par cheval-heure effectif.

Une machine à vapeur à condensation aurait exigé en plus 250 litres par cheval-heure pour le service du condenseur ; cela fait 12 500 litres par heure.

Nous n'ajouterons rien à ces chiffres.

Conclusion. — Au quadruple point de vue du prix de revient de l'unité de travail, de la sécurité du fonctionnement, de la régularité de la marche et de la consommation d'eau, les moteurs à gaz peuvent entrer en lutte avantageusement avec les machines à vapeur, dans des conditions déterminées, quand ils sont bien installés, bien conduits et bien adaptés au genre de services qu'ils sont appelés à rendre. S'ils ne sont pas encore susceptibles d'une application aussi générale, ils doivent dès maintenant être l'objet d'une préférence marquée dans certains cas spéciaux, que les ingénieurs compétents sauront reconnaître et dont l'industrie tirera un grand profit.

Aimé Witz.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

***Usine génératrice de la ville de Carlsruhe,*** par **F. Winawer**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 847, 16 octobre 1901.

La station centrale de la ville de Carlsruhe, construite par la Société de l'Industrie électrique, a été établie en courants triphasés à cause de la grande extension de la ville.

1. *Machines.* — La station est construite dans le voisinage du Rhin. Les figures 1 et 2 indiquent la disposition générale de l'usine en plan et en coupe. Une voie spéciale sert à amener le charbon que l'on dépose soit dans une grande tente, soit dans un local voisin de la salle des chaudières. Un monte-charges, mû par moteur triphasé, sert à enlever la cendre et à amener le charbon.

Un local spécial contient les épurateurs et les pompes alimentaires. Deux pompes puisent l'eau dans un bassin et l'amènent à un épurateur Reisert qui peut traiter 20 m³ d'eau à l'heure. L'eau pure se rend ensuite dans deux réservoirs de 50 m³, d'où deux pompes alimentaires ou un injecteur l'amènent aux chaudières. L'eau d'alimentation peut se rendre, soit directement aux chaudières, soit d'abord aux deux réchauffeurs, qui ont une surface de chauffe de 245 m².

La chaufferie comprend 6 chaudières Steinmüller, ayant chacune une surface de chauffe de 200 m². Chaque chaudière est munie d'un surchauffeur de 57 m², chauffant la vapeur à 250°. Le timbre est de 9,5 kg. Les surchauffeurs sont protégés, contre les excès de pression, par des conduites de retour aux soupapes de décharge (fig. 3). La cheminée a un diamètre de 2,4 m et une hauteur de 60 m. La chaufferie a encore place pour deux nouvelles chaudières.

Les collecteurs de vapeur se trouvent dans la salle des chaudières, et on peut actionner les vannes directement ou par chaînes.

L'eau de condensation huileuse est amenée aux bassins clarificateurs, tandis que l'eau pure est ramenée aux réservoirs d'alimentation.

Les condenseurs possèdent une canalisation spéciale, qui les relie à un bassin communiquant avec la rivière.

Les trois machines à vapeur, construites par la maison Kuhn de Stuttgart, sont des machines tandem, à distribution par soupapes. Leur puissance est de 600 chevaux normalement, 760 au maximum et la vitesse, de 91 tours par minute. Les pompes à air sont actionnées directement.

Les induits des alternateurs et excitatrices sont directement montés sur l'arbre : toutes les parties de l'induit sont facilement accessibles; de plus, en calant l'induit contre le volant, on peut lui faire effectuer une rotation complète. La tension composée est de 4 000 volts, la puissance normale pour 50 périodes et une charge non inductive est de 400 kilowatts, la puissance maximum de 540 kilowatts. L'inducteur pèse 34 000 kg et a un moment d'inertie de 640 000 kgm. Il est en six pièces et porte 66 pôles en acier. Les épanouissements sont feuilletés.

Le coefficient d'irrégularité est de $\frac{1}{300}$. Les excitatrices ont 6 pôles. Leur tension est de 70 volts.

Un pont roulant de 20 tonnes, d'une portée de 21 mètres, dessert la salle des machines. — Les alternateurs sont reliés au tableau par des câbles torsadés, sous plomb et armés.

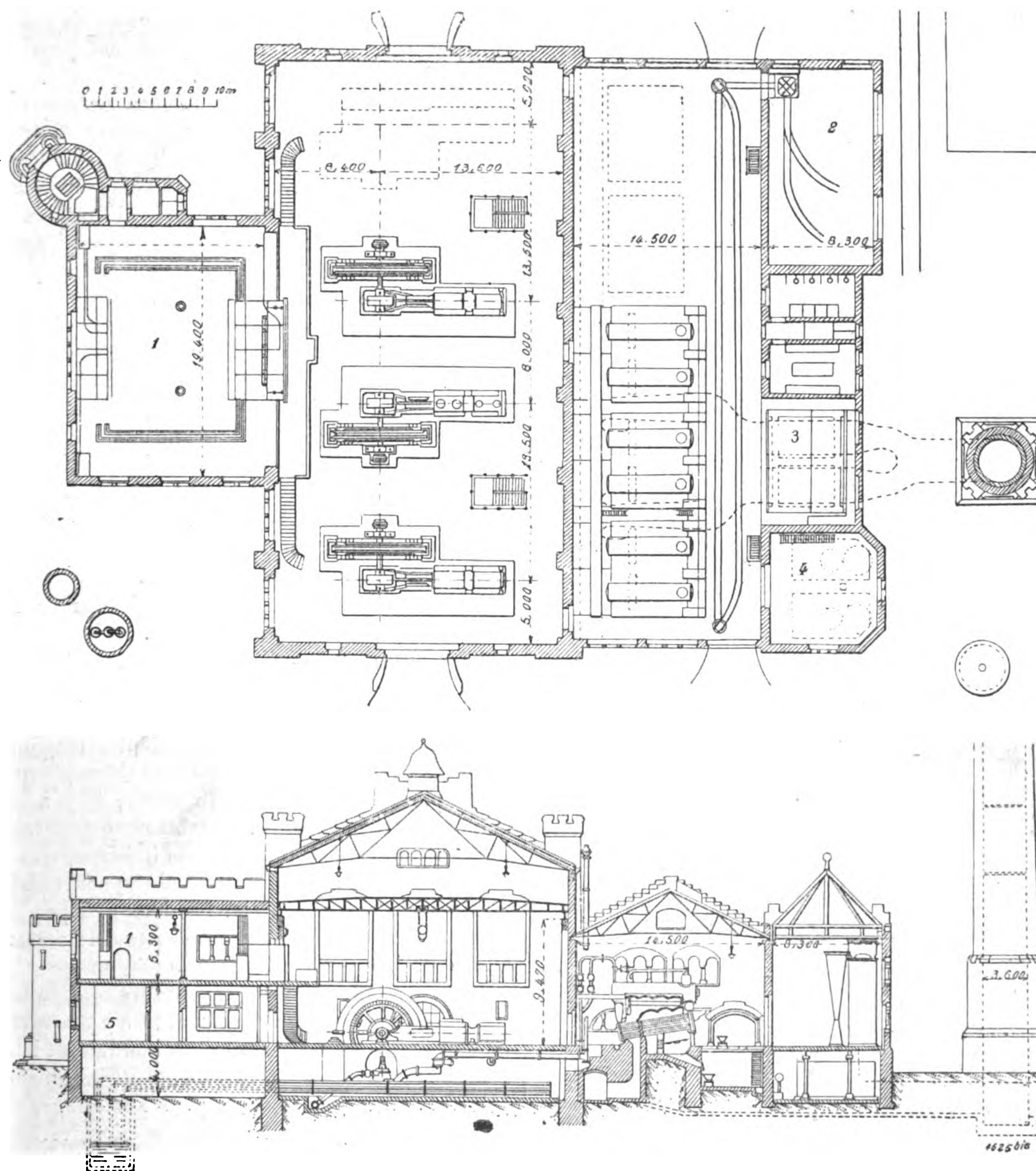



Fig. 1 et 2. — Disposition générale de l'usine en plan et en coupe. 1, tableau de distribution; 2, soute à charbon 3, réchauffeur; 4, épurateurs; 5, bureaux de l'administration.

2. *Tableau de distribution.* — Le schéma de la figure 4 indique les connexions entre les machines, les lignes et le tableau. Les panneaux I, II, III, desservent chacun une génératrice. Il n'y a pas d'instrument de mesure pour les excitatrices. Sur chaque panneau, se trouve

une lampe de phase, un voltmètre, et les rhéostats des excitatrices. Afin de pouvoir régler du

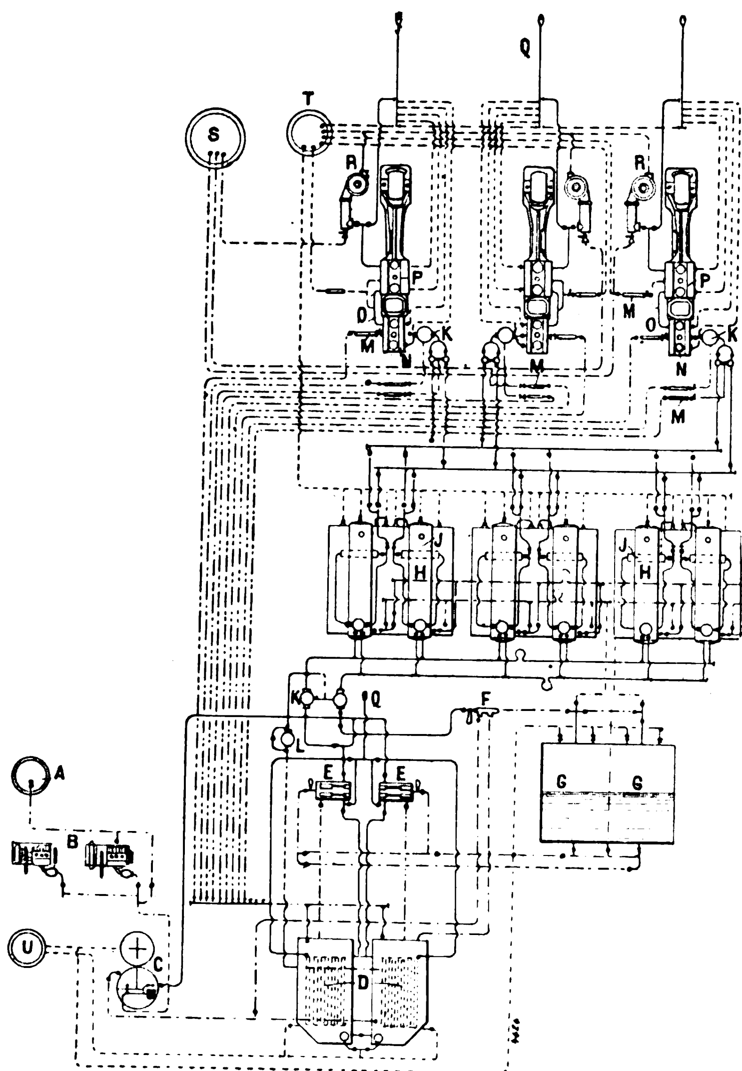



Fig. 3.

A, bassin d'eau ordinaire ; B, pompes électriques ; C, épurateurs Reisert ; D, économiseur ; E, pompes alimentaires à vapeur ; F, injecteur ; G, réchauffeur ; H, chaudières ; J, surchauffeurs à 250° C ; K, sécheurs de vapeur ; L, bouteille de condensation ; M, séparateur d'eau de condensation ; N, machine à vapeur, cylindre haute pression ; O, receiver ; P, cylindre basse pression ; Q, purgeur ; R, condenseur ; S, bassin fournissant l'eau d'injection au condenseur ; T, bassin clarificateur recevant les eaux impures rejetées à la rivière ; U, clarificateur recevant l'eau des purgeurs.

——— Collecteurs de vapeur.
— ·· — ·· — Conduites pour l'eau de condensation pure.
— · — · — Conduites pour l'eau d'alimentation et d'injection.
— — — — — Conduites pour les eaux souillées.

tableau la vitesse des génératrices au moment du couplage, les masses des régulateurs sont actionnées chacune par un moteur, dont l'interrupteur se trouve également sur le panneau de la génératrice correspondante.

Le tableau comporte deux systèmes de rails, formant chacun un rectangle, l'un est pour la force, l'autre pour la lumière.

Sur le panneau central du tableau se trouvent des voltmètres statiques pour mesurer la tension aux points d'alimentation. Tous les rhéostats peuvent être solidarisés au moyen d'un arbre commun. De la sorte, l'employé du tableau n'a qu'à se tenir près du panneau central pendant le service ; il n'a à se rendre aux autres panneaux qu'au moment du couplage.

Les boîtes d'extrémités de câbles sont placées dans l'ouverture située au-dessous du bâti à haute tension. Les conducteurs isolés se rendent aux interrupteurs de lignes, puis aux commutateurs à haute tension placés à la partie supérieure du bâti. Les commutateurs servent à brancher la machine, soit sur le réseau de lumière, soit sur le réseau de force. Dans les deux cas, la machine est protégée par des coupe-circuits à haute tension, en verre et en porcelaine.

La mesure des voltages et des intensités se fait au moyen de transformateurs.

Le tableau de répartition pour les feeders comporte un bâti spécial. Les câbles sont branchés sur les rails. Ce tableau est également pourvu de coupe-circuits à haute tension. 2 compteurs monophasés totalisent l'énergie qui passe par chaque feeder. En outre, il y a un ampèremètre par feeder. Le tableau central renferme 6 indicateurs de terre, un interrrupteur à haute tension et un voltmètre de synchronisation permettant de coupler les deux groupes de rails, lorsque l'on veut alimenter tout le réseau au moyen d'une seule machine.

Les boîtes d'extrémité des feeders sont fixées sur le châssis même du tableau. Il n'y a actuellement que 5 feeders, dont deux conduisent à la station transformatrice du pont du Rhin, un aux transformateurs du secteur pour l'éclairage, et les deux autres, de 120 mm² de section, vers la ville.

3. *Réseau et stations transformatrices.* — Les points de raccordement des feeders sont constitués par des stations souterraines (fig. 5, 6 et 7). Les boîtes d'extrémités sont fixées sur un châssis en fer fixé lui-même au plafond De là partent les conducteurs isolés qui se rendent aux fusibles à

haute tension. Le courant se rend ensuite aux rails collecteurs, placés au-dessous des coupe-circuits et d'où partent les conducteurs de distribution à haute tension et les câbles qui vont aux transformateurs. Le courant, transformé à 120 volts, se rend aux rails à basse tension ou au tableau à basse tension.

Sur les rails à basse tension est aussi branché le câble des fils pilotes, comprenant $3 \times 5$ conducteurs, pour mesurer la tension aux

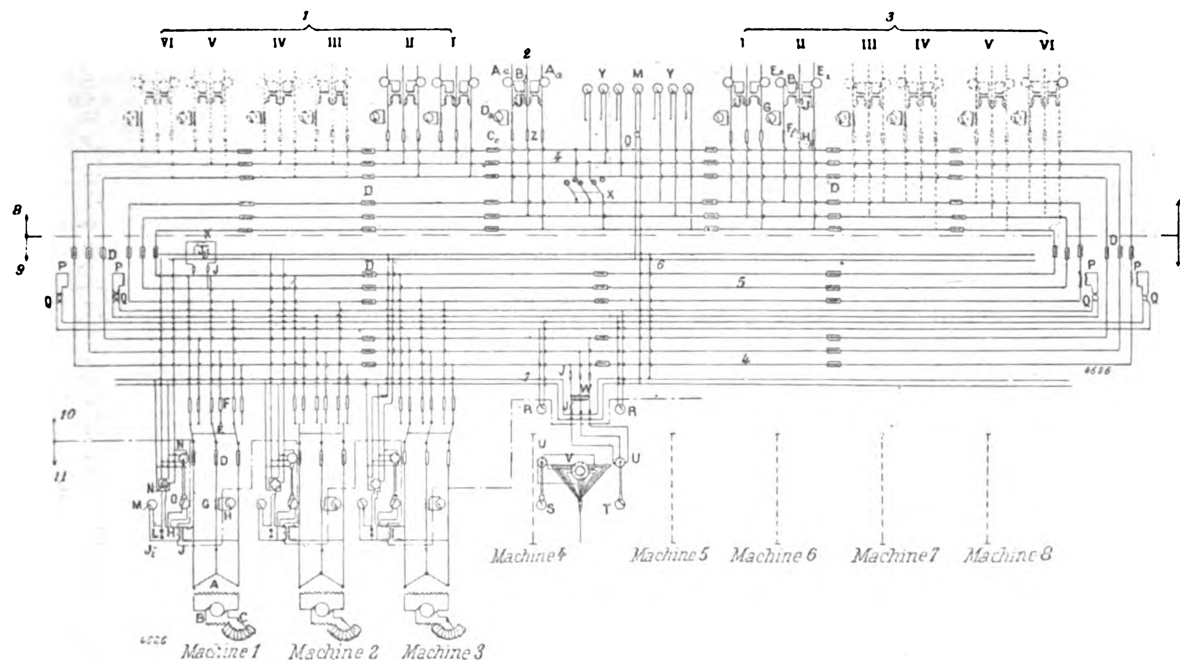



Fig. 4. — Tableau de distribution et schéma des connexions entre les machines, les lignes et le tableau.

A, alternateur triphasé de 400 kw, 4 000 volts ; B, excitatrice de 9 kw, 65 à 70 volts ; C, rhéostat d'excitation à 180 plots ; D, disjoncteur pour 400 ampères ; E, commutateur haute tension pour 100 ampères ; F, coupe-circuit haute tension pour 80 ampères et 400 volts ; G, transformateur d'intensité pour 100 ampères ; H, ampèremètre pour 100 ampères ; J, coupe-circuit pour les instruments de mesure à 7 000 volts ; K, transformateur pour les instruments de mesure abaissant la tension de 4 000 à 120 volts ; L, lampes de phase à 110 volts ; M, voltmètre calorique de 250 volts ; N, commutateur de voltmètre à 4 plots ; O, voltmètre calorique différentiel à 120 volts ; P, transformateur d'intensité pour 400 ampères ; Q, interrupteur à boutons ; R, ampèremètre pour 400 ampères ; S, voltmètre cellulaire pour 120 volts ; T, idem pour 250 volts ; U, commutateur de voltmètre à 6 plots ; V, idem à 15 plots ; W, transformateur abaissant la tension de 4 000 à 120 volts ; X, interrupteurs à rouleaux pour 130 ampères ; Y, voltmètre électrostatique pour 4 000 volts ; Z, coupe-circuits haute tension pour 10 ampères. — $A_a$, compteur triphasé pour 10 ampères ; B , transformateur de tension de 6 watts ; $C_c$, transformateur d'intensité pour 10 ampères ; $D_d$, ampèremètre pour 10 ampères ; $E_e$, compteur triphasé pour 75 ampères ; $F_f$, transformateur d'intensité pour 100 ampères ; $G_g$, ampèremètre pour 100 ampères ; $H_h$, coupe-circuit haute tension ; $J_i$, coupe-circuit basse tension.

2, conducteurs venant de la station au tableau de distribution ; 1-4, conducteurs et rails de tableau pour la force motrice et le service du port ; 3-5, idem, pour l'éclairage de la ville ; 6 et 7, circuits de synchronisation pour le couplage des deux systèmes de rails ; 8-8, panneau de départ des feeders ; 9-9, panneau principal avec voltmètres statiques pour mesurer la tension aux points d'alimentation ; 10, fosse d'où sortent les câbles des génératrices ; 11, panneau contenant les appareils de mesure.

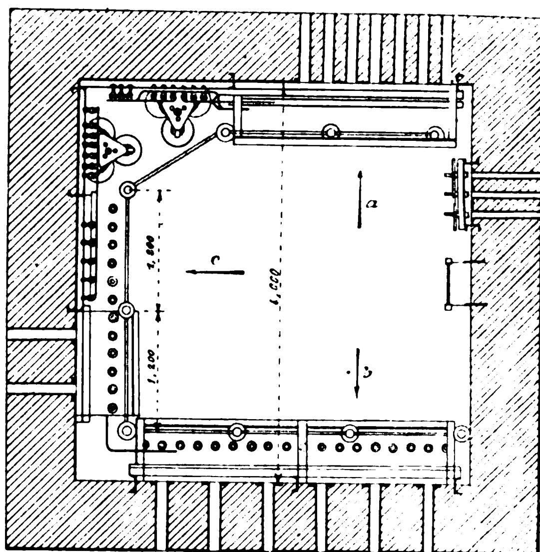
5 points de raccordement. L'ouverture qui permet l'accès de la station souterraine est fermée par un triple couvercle. Les échelles d'accès sont amovibles pour permettre d'enlever les transformateurs.

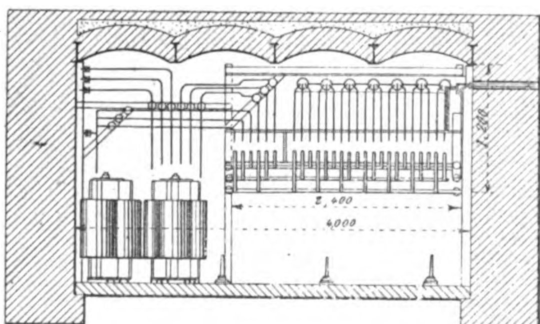
Des points de raccordement partent les câbles à haute tension qui se rendent aux diverses stations transformatrices (5 souterraines, 36 en plein jour, 10 dans les maisons). Deux points de raccordement sont réunis par une ligne d'équilibre de $3 \times 70$ mm².

Dans le réseau à basse tension, il y a 71 boîtes de répartition, aux points de croisements des câbles, pour éviter, autant que possible, les interruptions. Il y a, en tout, 65 km de câbles.

Les stations transformatrices de rues possèdent un bâti triangulaire, dont l'un des côtés sert aux coupe-circuits à haute tension des

transformateurs et des câbles, et dont l'autre côté reçoit le tableau à basse tension. Enfin, le





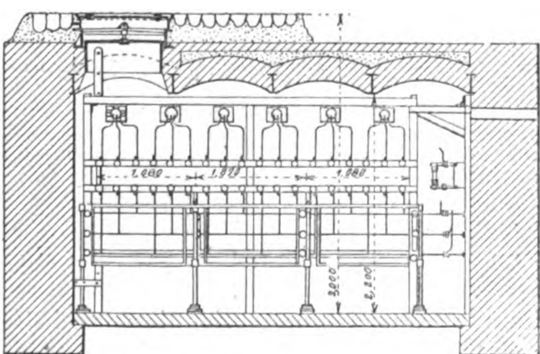


Fig. 5, 6 et 7. — Coupes diverses d'une station transformatrice souterraine.

troisième côté sert au transport des transformateurs. Afin de pouvoir accéder facilement à ces trois côtés, la paroi intérieure de la colonne peut tourner autour de son axe.

Le port du Rhin ne reçoit, pour le moment, que huit stations transformatrices. — Il y a, au

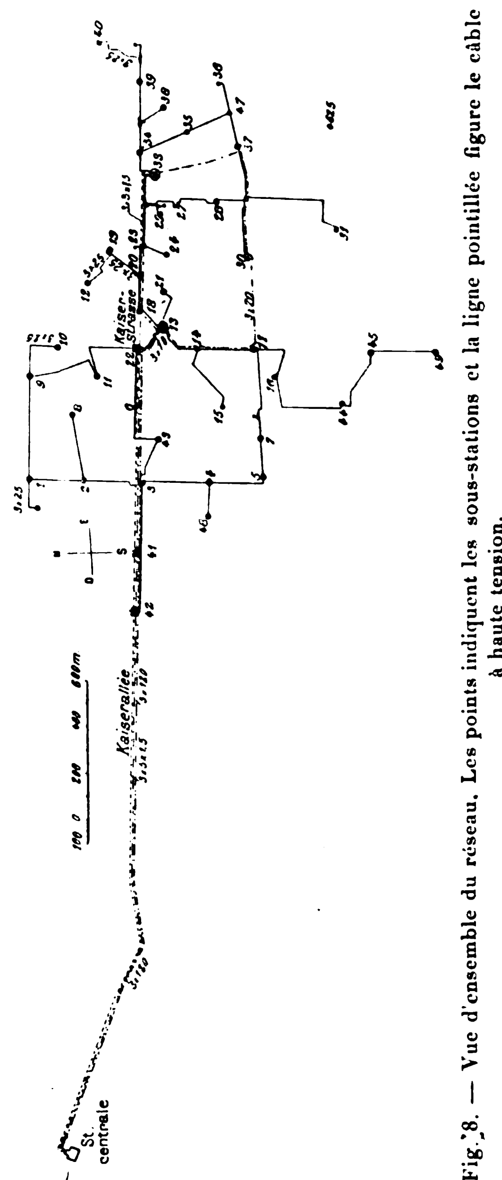



Fig. 8. — Vue d'ensemble du réseau. Les points indiquent les sous-stations et la ligne pointillée figure le câble à haute tension.

total, 70 transformateurs d'une puissance totale de 1 550 kilowatts, et d'une puissance unitaire de 15 à 50 kilowatts.

Les stations transformatrices des maisons sont, dans leur disposition d'ensemble, semblables aux stations souterraines ; mais les boîtes d'extrémités sont à la partie inférieure, tandis que les rails sont à la partie supérieure des coupe-cir-

cuits. Les câbles à basse tension ont 10, 16 et 25 mm², et aboutissent à une boîte de raccordement qui sert simultanément de boîte d'extrémité, de coupe-circuit et d'interrupteur. Il y a en ce moment 500 de ces boîtes. La figure 8 donne l'ensemble du réseau de distribution.

E. BEUTOM.

***Calcul du nombre de touches et des résistances d'un rhéostat d'excitation pour génératrice shunt***, par **Rudolf Krause**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 66, 23 janvier 1902.

Soit à établir le rhéostat d'excitation d'une génératrice shunt, dont la tension devra se maintenir dans les limites $E_{max}$ et $E_{min}$, telles que

$$E_{max} - E_{min} = \varepsilon.$$

On connaît la caractéristique à vide au voisinage de la tension normale (fig. 1), le courant

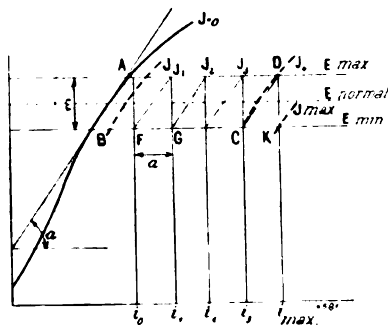



Fig. 1.

d'excitation $i_m$ correspondant à la pleine charge $J_m$, sous $E_{min}$, et la résistance de l'inducteur $r$.

Soit $i_0$ le courant d'excitation donnant la tension $E_{max}$, à vide ; dès qu'on charge la machine, la tension s'abaisse et devient égale à $E_{min}$, pour $J = J_1$, au point F. Alors on avance d'une touche sur le rhéostat, le courant d'excitation passe de $i_0$ à $i_1$, en augmentant d'une quantité $a$, et la tension redevient $E_{max}$.

S'il s'agit d'une dynamo dans laquelle le décalage des balais est très faible et constant, on peut admettre que la chute de tension est proportionnelle au courant dans les limites comprises entre o et $J_1$, $J_1$ et $J_2$, etc., et alors la courbe de tension pour $J = J_1$ et une excitation variant de $i_0$ à $i_1$ est parallèle à la caractéristique à vide et distante de celle-ci de la quantité $a$ ; si on assimile la portion AB à une droite, on voit que le point $J_1$ sera obtenu en menant par F une parallèle à AB. Si la chute de tension reste proportionnelle au courant, on aura ainsi une série de parallélogrammes égaux, jusqu'au point K correspondant à $J_m$ et $E_{min}$, avec une excitation $i_m$. Le nombre de ces parallélogrammes, représentant le nombre des résistances du rhéostat, dépend de la différence $i_m - i_0$, de la valeur $\varepsilon$, et de l'inclinaison sur l'axe des $i$ de la droite AB, soit de l'angle $\alpha$.

On a évidemment

$$m = \frac{i_m - i_0}{a} = \frac{(i_m - i_0)\,\mathrm{tg}\,\alpha}{\varepsilon}, \qquad (1)$$

expression dans laquelle il faut mener $i$ à l'échelle de $\varepsilon$.

Remarquons que si l'on est obligé de décaler de plus en plus les balais, la chute de tension augmente plus rapidement que le courant, à cause de l'accroissement des ampères-tours antagonistes de l'induit, les longueurs $a$ augmentent, et le nombre nécessaire de résistances $m$ diminue : on a donc toute sécurité en adoptant pour $m$ le nombre déduit de la formule 1, où la chute de tension est supposée proportionnelle au courant.

Soit E la tension normale $\frac{E_{max} + E_{min}}{2}$, $r_1$, $r_2$, $r_m$, les $m$ résistances entre les touches, comptées de la touche de résistance maximum vers le

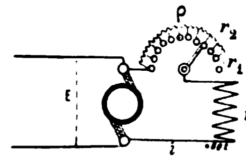



Fig. 2.

court-circuit (fig. 2), $\rho$ la résistance totale du rhéostat, on a

$$\rho = r_1 + r_2 + \cdots + r_m = \frac{E}{i_0} - r \qquad (2)$$

Pour la première résistance,

$$\rho - r_1 = \frac{E_{max}}{i_1} - r,$$

mais

$$i_1 = i_0 + a = i_0 + \frac{\varepsilon}{tg\,\alpha},$$

d'où

$$r_1 = \rho + r - \frac{E_{max}}{i_0 + a}$$

De même

$$r_2 = \rho + r - \frac{E_{max}}{i_0 + 2a} - r_1,$$

$$r_k = \rho + r - \frac{E_{max}}{i_0 + ka} - (r_1 + - \ldots + r_{k-1}), \quad (3)$$

$$r_m = \rho + r - \frac{E_{max}}{i_0 + ma} - (r_1 + r_2 + - \ldots + r_{m-1}).$$

Les formules 1, 2 et 3 déterminent complètement le rhéostat.

*Remarques.* — 1° Les machines motrices tournent en général un peu plus vite à vide qu'en charge. Lorsque la vitesse passe de la valeur $n$, à la valeur plus grande $n_1$, la courbe AB devient

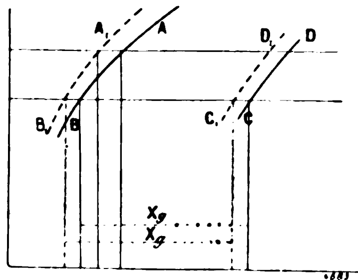



Fig. 3.

$A_1 B_1$ (fig. 3), la chute de tension ne se modifie pas sensiblement et, par suite, la différence $i_m - i_0 = X_g$ reste la même, mais l'angle $\alpha$ diminue et aussi le segment $a$; on aura toute sécurité en adoptant $i'_0$ à la vitesse maximum, $i_m$ à la vitesse minimum, et la longueur de $a$ correspondant à $\alpha_1$, vitesse $n_1$ soit pour $m$,

$$m = \frac{i_m - i'_0}{\varepsilon} \, tg \, \alpha_1.$$

2° Par suite de l'hystérésis, la caractéristique à vide tracée en descendant est plus élevée que la courbe tracée en montant; on aura toute sécurité en adoptant comme point de départ la courbe tracée en descendant, dont l'angle $\alpha$ est le plus petit.

3° Souvent la résistance à chaud de l'inducteur $r$ est plus petite qu'il n'est nécessaire; on ajoutera alors une résistance fixe dont la valeur sera

$$\frac{E_{min}}{i_m} - r.$$

Dans toutes les formules, il faut tabler sur cette résistance à chaud; mais pour qu'à froid, au départ, la tension ne soit pas trop élevée, on ajoutera le nombre de résistances convenables pour faire la différence $r_{chaud} - r_{froid}$; dans les machines à haute tension, il faudra ajouter encore quelques plots pour la coupure du circuit inducteur, sans trop de danger pour les isolants.

A. M.

***Sur les phénomènes de résonance,*** communication faite par le Dr **Gustav Benischke,** à la Société Electrotechnique de Berlin, séance du 22 octobre 1901, *Elektrotechnische Zeischrift*, t. XXIII, p. 97, 30 janvier 1902.

Les phénomènes de résonance jouent un rôle considérable non seulement en électrotechnique, mais aussi en mécanique. Dernièrement, M. Frham, ingénieur en chef de l'usine de construction de bateaux Blohm et Voss, a montré que les ruptures fréquentes qui se produisent dans les arbres des navires, ne peuvent pas s'expliquer la plupart du temps, par un défaut de matière ou de construction, mais sont dus en majeure partie, à ce que, sous l'action de l'irrégularité périodique du couple moteur de la machine à vapeur, naissent des oscillations de torsion dans les longs arbres des bateaux, oscillations qui, pour une certaine vitesse, entrent en résonance avec les oscillations propres de l'arbre et atteignent alors une amplitude telle qu'elles amènent fatalement sa rupture.

L'auteur rappelle que la résonance a été observée d'abord en acoustique, (résonateurs d'Helmholtz), et que c'est de là qu'elle a tiré son nom.

Hertz a employé des résonateurs électriques absolument analogues aux résonateurs acoustiques de Helmholtz. Le principe de la résonance électrique consiste en ce fait : Lorsque, dans un circuit alimenté par des courants alternatifs à une fréquence donnée, la self-induction et la capacité présentent entre elles un certain rapport qui dépend de la fréquence, l'intensité du courant atteint une valeur considérable, comme si la self-induction et la capacité n'existaient pas et qu'il restât en présence seulement la résistance ohmique; la fréquence qui amène la résonance dans un circuit est la fréquence des oscillations électriques qui prennent naissance sous l'action d'un excitateur, fréquence pour laquelle est accordé le circuit.

D'une façon générale, la résonance mécanique, acoustique ou électrique, se produit quand existe

entre la fréquence $n$, et deux grandeurs dont l'une est une force agissante D et l'autre une force d'amortissement K, une relation nécessaire et suffisante :

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{D}{K}}$$

Pour une corde tendue, K est le poids et D la tension ; pour un mouvement pendulaire physique, K est le moment d'inertie, et D le moment maximum agissant ; pour les oscillations électriques, K est la self-induction et D l'inverse de la capacité.

Comme exemple de résonance, l'auteur a montré l'expérience d'une table oscillante.

Sur une table dont les pieds étaient fixés au sol avec de la cire, (fig. 1), était placé un petit

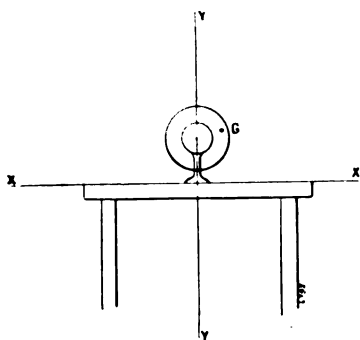



Fig. 1.

moteur électrique, portant en bout d'arbre un plateau sur lequel on avait vissé à une distance de 6 cm du centre, un petit poids d'environ 40 gr.

Lorsque le moteur tourne, la force centrifuge agissant sur le poids donne naissance à une

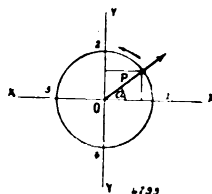



Fig. 2.

force, qu'on peut décomposer suivant deux directions intéressantes, les seules suivant lesquelles la table puisse se déplacer : la direction OX (fig. 1 et 2) suivant la longueur de la table, correspondant à un mouvement de flexion des pieds, et la direction verticale OY, correspondant à un mouvement de flexion du plateau de la table. Ces deux composantes sont des forces périodiques sinusoïdales P cos $\alpha$ et P sin $\alpha$, telles que P est d'environ 0,25 kg, pour une vitesse de 300 t. : minute du moteur.

Si l'on place sur la table une lampe à incandescence, les déplacements du filament lumineux permettent de constater que pour environ 300 tours, la table se met à osciller longitudinalement d'une façon très notable, alors que toute oscillation cesse dès que par variation de la résistance intercalée dans l'induit du moteur, on augmente ou abaisse la vitesse. La force qui produit ces oscillations est la composante suivant OX, et il est très curieux qu'une aussi petite force puisse provoquer de pareilles perturbations.

La table présente de même une période critique amenant la résonance de la composante verticale ; cette résonance se produit, comme on le constate facilement, par les trépidations d'une assiette, à une vitesse beaucoup plus élevée, 1300, t. : min., l'élasticité du plateau de la table étant beaucoup plus grande que celle de ses pieds.

Il est à remarquer qu'un pendule oscille jusqu'à ce que la force vive qui lui a été communiquée dans l'impulsion initiale ait été tout entière absorbée par le travail nécessaire pour vaincre le frottement au point de suspension et la résistance du milieu ; aussi les oscillations s'éteignent-elles plus vite dans un milieu visqueux que dans l'air : c'est ce qu'on appelle l'amortissement.

Si l'on veut entretenir indéfiniment des oscillations, il faut fournir au corps vibrant l'énergie correspondante à ce travail de frottement : c'est le rôle du poids ou du ressort dans les horloges. Dans le cas de la table, le travail est fourni par le moteur électrique. Si nous relevons la courbe des nombres de tours par rapport à la tension aux bornes, nous constatons que jusqu'à la vitesse 300 t. : minutes, le nombre de tours s'élève en même temps que la tension aux bornes, (fig. 3) ; à ce moment la courbe présente un palier, le nombre de tours reste invariable, bien qu'on augmente la tension ; et par suite la puissance du moteur, l'énergie supplémentaire ainsi fournie sert à entretenir les vibrations qui naissent par le fait de la résonance ; si on dépasse le point $b$, l'énergie fournie devient

trop considérable, la vitesse augmente, mais alors la résonance cesse, et il y a une brusque montée de la vitesse, suivant une verticale, jus-

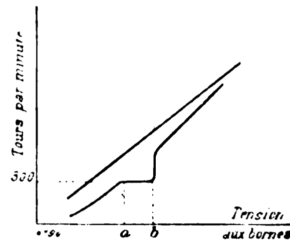


Fig. 3.

qu'au point où la puissance du moteur redevient normale par rapport à la vitesse, point à partir duquel la courbe s'élève régulièrement.

Les phénomènes de résonance jouent encore un rôle dans l'étude à vide des moteurs, et spécialement des moteurs d'induction. Dans ces moteurs l'entrefer est très petit, et si le rotor est tant soit peu excentré, même de 0,05 mm, les couples qui s'exercent entre le rotor et le stator donnent naissance à des vibrations, qui se communiquent souvent au bâti du moteur tout entier.

Lorsque dans ces moteurs, on relève la dépense à vide sous des tensions décroissantes et qu'on porte les dépenses en ordonnées et les tensions en abscisses, l'ordonnée à l'origine OA doit indi-

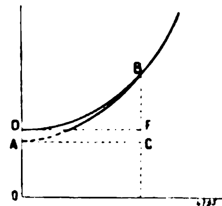


Fig. 4.

quer (fig. 4) la dépense de frottement et de ventilation, puisque en A la tension étant nulle, les pertes dans le fer sont évidemment nulles, et par suite la différence BC représente les pertes dans le fer sous le régime normal. Or cette perte dans le fer, ainsi déterminée, est toujours beaucoup plus grande que la perte calculée, l'erreur atteignant souvent 100 à 150 p. 100, alors que d'après le calcul, on est en droit d'espérer une approximation de 10 p. 100.

Cela tient à ce que les pertes par frottement sont supérieures à OA dans la marche normale, et sont égales à OD par exemple ; l'auteur estime que la raison en est dans l'énergie absorbée par les vibrations, énergie qui décroît rapidement quand la tension s'abaisse, puisque ces vibrations sont dues à des actions magnétiques proportionnelles au carré de l'induction, et diminuent par suite rapidement avec la tension. Cette dépense n'étant pas comprise dans OA, se trouve ajoutée ainsi à tort aux pertes dans le fer.

La résonance intervient d'une façon importante dans la marche en parallèle des alternateurs accouplés directement à des machines à vapeur. Il se produit l'interférence de trois sortes d'oscillations, dues, les premières à l'irrégularité du couple moteur, les secondes à la puissance synchronisante du courant de circulation, et les troisièmes à la torsion de l'arbre.

En terminant, l'auteur cite l'exemple d'un petit ventilateur électrique de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft, monté à l'extrémité d'une tige horizontale H, mobile autour d'un axe vertical A (fig. 5). Par suite de la réaction de l'air,

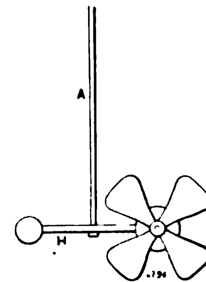


Fig. 5.

l'ensemble tournait autour de l'axe A. Au bout de quelques jours, une aile vint à se briser, fait qui n'était jamais arrivé dans les nombreux ventilateurs fixes du même type ; la cassure ne montrait pas le moindre vice de matière ou de construction. On remplaça l'aile, par une autre très renforcée, et au bout de quelques jours une deuxième aile se brisa, puis finalement encore l'aile renforcée. L'auteur attribue ce fait à des phénomènes de résonance de l'aile, favorisés par le déplacement du plan de rotation. A. M.

***Contrôleur automatique d'intensité de courant A.-G. Paul Meyer***, communication de **M. le Dr Hartmann** à la Société Électrotechnique de Berlin, séance du 26 novembre 1901, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 162, 20 février 1902.

L'appareil présenté par l'auteur est destiné à

empêcher l'intensité du courant dépensé par un abonné, de dépasser une valeur fixée pour laquelle il est réglé. De cette façon les abonnés à forfait peuvent installer un nombre quelconque de lampes, tout en ne payant à la station centrale que le prix correspondant à la dépense d'énergie convenue, et qu'ils ne peuvent dépasser, étant donné la présence du contrôleur automatique.

Cet appareil interrompt et rétablit le courant alternativement, dès que l'intensité dépasse la valeur indiquée, et force l'abonné à restreindre sa consommation; il a été inventé par MM. H. Tudor de Rosport et W. Schwarzhaupt de Saint-Goar.

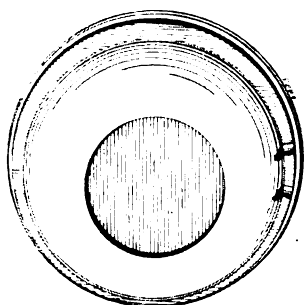


Fig. 1.

La figure 1 représente l'aspect extérieur, la figure 2 la vue de l'appareil ouvert, et la figure 3 le schéma du fonctionnement.

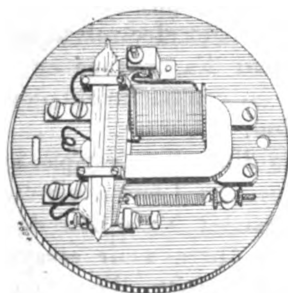


Fig. 2.

Sur une plaque de fer de 180 mm de diamètre, portant des trous de fixation A et B, est monté un électro-aimant C avec sa bobine D. Autour du point J, est mobile une armature en fer portant un tube de verre E horizontal, qui présente deux cuvettes traversées par des fils de platine. Les deux extrémités de la bobine sont reliées l'une à la borne d'entrée de l'appareil G, l'autre à l'un des fils de platine; le second fil de platine est relié à la borne de sortie H. En temps normal une couche F de mercure assure la communication entre les deux cuvettes, et l'appareil est monté en série dans le circuit principal, sans y apporter de modifications. Le ressort K soulage l'armature d'une partie de son poids; les deux vis L servent de butée à l'armature, la vis M permet de l'immobiliser pour le transport.

Dès que le courant vient à dépasser une certaine valeur, l'armature est attirée, le mercure

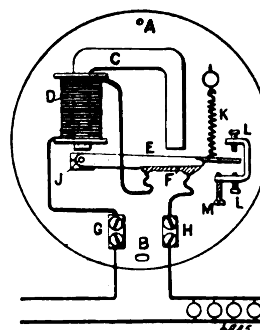



Fig. 3.

s'écoule vers l'axe J et le courant est coupé, mais alors l'armature n'étant plus retenue, retombe à sa position première, le courant est rétabli et les mêmes phénomènes recommencent, jusqu'à ce que le client, averti par les interruptions périodiques, ait ramené l'intensité à la valeur normale.

Par une légère addition à l'appareil, on peut faire en sorte qu'au bout d'un certain temps, si le client n'a pas obéi aux injonctions de l'appareil, l'interruption soit continue, et dure jusqu'au retour du courant à la valeur normale.

Dans ce but, sur le noyau resté libre on dispose une bobine connectée en parallèle avec une autre bobine non placée sur l'électro; la première est en métal dont la résistance ne varie pas avec la température, la seconde au contraire a un coefficient de température notable. En avant de ce groupe, se trouve en série une résistance invariable, et le tout est monté en parallèle avec le circuit principal. Dès que se produisent les oscillations, le courant passe dans les deux bobines et par suite de l'élévation de température, il augmente peu à peu dans la bobine placée sur l'électro, à cause de l'élévation de résistance de l'autre bobine, et devient bientôt

suffisant pour attirer l'armature et la maintenir soulevée, d'où une interruption continue, qui ne cesse que quand le courant principal a repris une valeur acceptable.

L'appareil est automatique, peut être plombé comme un compteur, et sa sensibilité est telle qu'il entre en fonctionnement pour un écart de

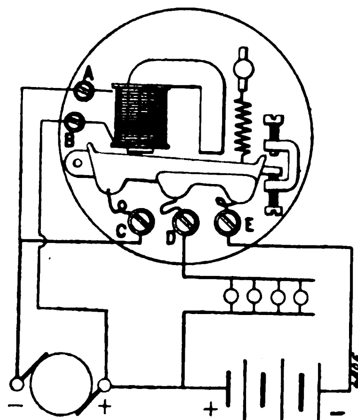



Fig. 4.

5 p. 100 : même sous 15 A et 220 V, les étincelles de rupture ne sont pas gênantes; il est construit en deux modèles, l'un de 1 à 6 A, l'autre de 5 à 12 A, réglables par modification de la distance de l'armature au noyau, et de la tension du ressort.

Des appareils de principes analogues, peuvent

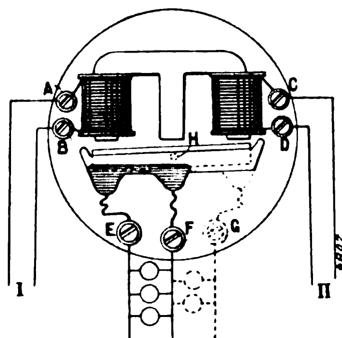



Fig. 5.

être employés pour beaucoup d'autres usages, tels que : interrupteurs fonctionnant à pleine charge dans des locaux humides ou renfermant des gaz explosifs, relais, commutateurs, inverseurs, etc., à courants continu ou alternatifs.

La figure 4 représente un commutateur destiné à remplacer automatiquement, pour l'alimentation d'une installation, une dynamo par une batterie d'accumulateurs.

La bobine est montée en dérivation aux bornes de la dynamo, et maintient soulevée l'armature; dans cette position, le courant passe par C et D, et la dynamo travaille sur les lampes; si la tension de la dynamo vient à s'annuler ou seulement à s'abaisser au-dessous d'une certaine limite, l'armature retombe, le mercure coupe la communication CD et établit la liaison DE, ce qui supprime la dynamo et la remplace par la batterie.

Dans la figure 5, l'appareil sert de commutateur pouvant fonctionner à distance, automatiquement ou non; il porte deux bobines et l'axe de rotation est au milieu de l'armature.

A M.

## ÉLECTROCHIMIE

***Fabrication électrolytique du sodium et de l'acide azotique***, par **James D. Darling**. *Journal of the Franklin Institute*, t. CLIII, p. 65-74, janvier 1902.

L'auteur décrit un procédé de son invention, appliqué depuis dix-huit mois à Philadelphie, pour lequel le Franklin Institute lui a décerné le prix Scott.

Ce procédé consiste à électrolyser de l'azotate de sodium fondu; il se forme à la cathode du sodium métallique et à l'anode, un mélange de peroxyde d'azote et d'oxygène, qui, en présence de l'eau, donne de l'acide azotique.

La difficulté d'application du procédé est d'empêcher le sodium, corps éminemment réducteur, de réagir sur le bain électrolytique d'azotate de sodium; l'auteur l'a tournée en enfermant la cathode dans un compartiment contenant de la soude en fusion.

Toutefois la difficulté n'est pas ainsi complètement vaincue, car il faut avoir un diaphragme capable de résister à l'action de l'azotate de sodium fondu. Après avoir essayé une cellule électrolytique, décrite dans un brevet du 20 mars 1894 (U. S. A. P n° 517001) et de nombreux diaphragmes, l'auteur eut l'idée de former le diaphragme d'une masse d'oxyde de magnésium en grains, maintenue par des parois de tôle perforées. Il prit tout d'abord de l'oxyde de magnésium fondu au four électrique, refroidi puis réduit en grains de grosseur convenable. (USAP, n° 590826, du 28 septembre 1897). L'oxyde de magnésium ainsi préparé étant coûteux, il parvint à le remplacer par de la magné-

sie ordinaire broyée et calcinée avec du ciment de Portland; la masse additionnée d'eau est coulée entre les deux parois de tôles; elle fait prise, durcit et résiste fort bien au bain (USAP, n° 641376, du 19 janvier 1901). La durée des parois de tôle fut également prolongée en dérivant environ 5 p. 100 du courant principal dans les tôles de manière à les rendre positives (USAP, n° 641 438, du 16 janvier 1901); les tôles ont ainsi une durée de 425 à 450 heures.

La cellule électrolytique se compose d'un creuset en fonte, servant d'anode, au fond duquel on met une couche de 15 cm de matière réfractaire isolante. Sur cette couche repose le vase poreux de 75 cm de hauteur et 40 cm de diamètre extérieur et dont les parois ont 10 cm d'épaisseur; entre le creuset et le vase se trouve un espace annulaire de 7,5 cm de large où l'on verse l'azotate de sodium. A l'intérieur du vase poreux descend un tube de fer de 10 cm de diamètre servant de cathode; de l'hydrate de sodium est versé dans ce vase.

On commence par élever la température au moyen d'un four à charbon jusqu'à fusion des deux composés chimiques; on fait alors passer le courant, et à partir de ce moment la chaleur dégagée par celui-ci suffit pour maintenir la masse en fusion. Au début de l'électrolyse, le sodium réagit sur l'hydrate de sodium en donnant lieu à un dégagement d'hydrogène et probablement à la formation d'oxyde de sodium; puis le sodium métallique s'élève dans le vase poreux au-dessus du bain d'oxyde : il est retiré toutes les heures avec une cuiller et mis en bouteilles sous une couche d'huile minérale. L'oxygène et le peroxyde d'azote qui se dégagent à l'anode sortent par un tube fixé au couvercle de l'appareil et sont conduits dans une série de flacons de Woolf où il se forme de l'acide azotique.

Chaque creuset prend environ 400 ampères sous une différence de potentiel de 15 volts. La dépense d'énergie électrique est plus grande que dans la préparation du sodium au moyen de la soude, mais malgré l'augmentation de dépense qui en résulte, le prix de revient du sodium est moindre, l'acide azotique formé en même temps que lui ayant une valeur notable.

En terminant, l'auteur examine les applications industrielles du sodium, dont la consommation a notablement baissé depuis que les procédés électrolytiques ont remplacé le procédé de Deville pour la fabrication de l'aluminium. Comme application assez importante il signale la fabrication du peroxyde de sodium que l'on obtient en brûlant le sodium dans un courant d'air débarrassé de sa vapeur d'eau et de son gaz carbonique; ce peroxyde est un puissant agent d'oxydation que l'on utilise pour le blanchiment de la laine, de la soie, des plumes [1].

Une autre application est la fabrication des cyanures que, d'après le procédé préconisé par Erlenmeyer [2], l'on obtient en chauffant le ferrocyanure de potassium avec le potassium ou le sodium ($K^4Fe(CAz)^6 + 2Na = 4KCAz + 2NaCAz + Fe$). Or les cyanures alcalins sont consommés en quantités considérables dans l'extraction de l'or, la dorure et l'argenture.

***Sur les réactions génératrices du carbure de calcium***, par **Gustave Gin**. Note communiquée par l'auteur.

Les gaz, qui se dégagent des fours à carbure de calcium par la région périphérique de l'électrode verticale contiennent de l'oxygène libre, tandis que l'on rencontre du calcium métallique dans les produits gazeux qui s'échappent à la partie inférieure du creuset. L'oxygène libre augmente avec la densité du courant et le siège de son dégagement est dans l'espace à température maxima ; l'émission de la vapeur de cal-

(1) Ajoutons qu'un nouveau débouché vient d'être offert au péroxyde de sodium pour la fabrication du produit appelé « oxylithe » et destiné à la préparation de l'oxygène par simple action de l'eau sur ce produit. L'oxylithe, que M. Raveau signalait dans son récent compte rendu de l'Exposition de Pâques de la société de Physique, est en effet un comprimé formé de peroxyde de sodium ou de potassium, auquel on ajoute du permanganate d'un de ces métaux, ou une hypochlorite, ou encore une trace d'un sel de nickel, de cuivre, etc. Traité par l'eau il donne environ 150 lit. d'oxygène très pur par kilogramme de matière. Par suite de la simplicité de la préparation il n'est pas douteux que l'oxygène ainsi obtenu ne remplace dans beaucoup de cas l'oxygène comprimé.

(2) L'auteur signale encore un procédé permettant d'obtenir le cyanure de sodium au moyen du sodium métallique : on fait passer un courant d'ammoniaque sur du sodium chauffé; on a $AzH^2Na$ d'après la réaction $AzH^3 + Na = AzH^2Na + H$ ; en suite en traite $AzH^2Na$ par le charbon, $AzH^2Na + C = NaCAz + H^2$.

A ce propos M. Darling ajoute qu'il fera connaître plus tard un procédé synthétique de préparation des cyanures de sodium où l'on se sert principalement de soude caustique, et d'une faible quantité de sodium métallique.

cium se produit dans une région à température moins élevée.

C'est ce dégagement paradoxal d'oxygène qui produit la combustion des électrodes immédiatement au-dessus de la surface du bain, sans que cette combustion puisse être attribuée à l'oxygène atmosphérique, à l'action duquel l'électrode est soustraite par le mélange pulvérulent qui en recouvre la base, ainsi que par la pression des gaz s'exerçant vers l'extérieur.

Enfin, c'est presque exclusivement au calcium vaporisé et non à une volatilisation directe de la chaux qu'il faut attribuer les poussières impalpables qui se dégagent des fours à carbure.

Il est intéressant de chercher l'explication de ces phénomènes :

Or, d'une part, les expériences de M. Berthelot, ont montré que l'oxyde de carbone subit à haute température une dissociation complexe comparable à la destruction pyrogénée des carbures d'hydrogène et ces observations rendent douteuses la formation directe de ce composé aux plus hautes températures des fours à carbure.

D'autre part, les proportions industrielles de chaux et de carbone du mélange générateur diffèrent de la formule de M. Bullier par un excès de chaux variable suivant les fours employés.

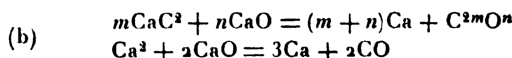
Enfin, il faut observer que le creuset d'un four électrique comporte des zones successives dans lesquelles la température décroît rapidement depuis le foyer jusqu'aux limites du mélange soumis à l'action du courant, et dans lesquelles il se produit une série d'équilibres chimiques variant graduellement d'après le principe de van t'Hoff, dans un sens de plus en plus endothermique vers l'espace à température maxima. Si dans cette région, la température est telle que CO soit complètement dissocié, la formation de $CaC^2$ résultera d'une substitution pure et simple du carbone à l'oxygène de l'oxyde de calcium suivant la formule :



(a) $$CaO + 2C = CaC^2 + O$$

qui explique le dégagement d'oxygène au contact des surfaces latérales de l'électrode supérieure, c'est-à-dire sur le contour de la région à température extrême. Il est possible qu'entre la région où CO est dissocié et celle où il peut exister, il se produise d'autres réactions intermédiaires avec production de sous-oxydes de carbone.

Quant aux dégagements des vapeurs de calcium, ils s'effectuent au contact des nappes superposées de chaux et de carbure par les réactions :



(b) $$mCaC^2 + nCaO = (m+n)Ca + C^{2m}O^n$$
$$Ca^2 + 2CaO = 3Ca + 2CO$$

se produisant respectivement dans les régions où CO est ou n'est pas dissocié. La première des deux réactions précédentes est hypothétique, la seconde a été vérifiée par M. Moissan [1].

Les réactions (*a*) et (*b*) expliquent l'excès de chaux qu'il est nécessaire de faire intervenir pour la fabrication du carbure de calcium et le désaccord entre les rendements industriels et la formule de M. Bullier.

## DIVERS

***Facteur de forme et facteur de maximum***, par **Gustav Benische**.

Dans une lettre qui nous est parvenue trop tard, l'auteur attire notre attention sur la phrase suivante, page 234 de l'avant-dernier numéro : « Mais si on passe aux courbes des figures 2 et 3, etc. », qu'il craint de voir interpréter dans un sens trop restreint. Il est bien entendu que les figures 2 et 3 ne sont données que comme des exemples particuliers. Quant aux lettres $\mathfrak{k}$, des figures 1, 2, 3, ce sont celles de l'original et le lecteur a certainement compris qu'il convient de les remplacer par $\mathfrak{K}_0$.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## ACADÉMIE DES SCIENCES

*Séance du* 5 *mai* (suite).

***Sur le rôle de la self-induction dans les décharges électriques à travers les gaz***, par **B. Eginitis**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1043-1046.

Continuant ses recherches sur ce sujet [1], l'auteur a observé quelques nouveaux phénomènes dont la description est l'objet de cette note.

1. La variation de la self-induction du circuit

[1] Voir *L'Écl. Élect.*, t. XXXI, p. 194, 3 mai 1902.

[1] *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXXIV, p. 136, 20 janvier 1902.

de décharge provoque de grandes variations des phénomènes calorifiques présentés par les pôles entre lesquels les étincelles jaillissent. La température des pôles augmente énormément, présentant des maxima et des minima quand la self-induction du circuit prend des valeurs croissantes. [1]

2. Plusieurs précautions sont nécessaires pour que les déterminations par la pince thermo-électrique ne soient pas absolument absurdes. Parmi ces précautions l'auteur en cite une qui présente un intérêt particulier et qui provient de ce que la température des pôles dépend de la température qu'ils ont avant que les étincelles commencent à jaillir. [2]

3. Les métaux examinés au moyen de la pince sont le fer, le nickel, l'aluminium, le cuivre et l'argent. Quelques déterminations ont été faites aussi sur l'étain, le cobalt et le platine. L'ensemble des résultats observés peut se résumer ainsi :

Quand la self-induction augmente, la distance des pôles restant constante, la température des pôles augmente au commencement très rapidement pour tous les métaux. La différence de la température de deux pôles, qui, au commencement est presque nulle, devient très grande pour de faibles valeurs de la self-induction. Si la self-induction continue à augmenter, la température des pôles présente alors des maxima et des minima.

Si la self-induction reste constante et qu'on fasse varier la distance explosive, l'échauffement des pôles varie ou bien toujours dans le même sens, ou bien présente aussi des maxima et des minima.

4. Une première remarque qu'on a à faire sur ce phénomène, c'est que les métaux fer, nickel et cobalt, dont l'échauffement est très grand, sont des métaux dont les spectres se renforcent par l'augmentation de la self induction. Au contraire, les métaux qui ne donnent pas de grandes variations d'échauffement sont des métaux dont le spectre est plus ou moins diminué d'intensité par l'augmentation de la self-induction. Cependant ce classement est encore arbitraire. [1]

---

[1] « Les étincelles sont fournies par une grande bobine d'induction dont le primaire est traversé par un courant alternatif de 42 périodes, et qui actionne deux grandes bouteilles de Leyde de 0,005 microfarads, selon le dispositif de Tesla. Par l'introduction de bobines sans noyau métallique dans le circuit de décharge, la self-induction peut prendre des valeurs croissantes. La résistance du circuit est maintenue à la valeur constante de 12 ohms.

» Pour comparer les variations des phénomènes calorifiques des pôles avec les variations lumineuses de l'auréole, nous avons pris comme pôles de longs fils de 1 mm de diamètre environ. Ces fils deviennent incandescents par l'augmentation de la self-induction, et l'on peut ainsi, en photographiant, suivre les variations calorifiques des pôles et en même temps les variations lumineuses de l'auréole.

« D'après ces photographies, les variations de l'éclat de l'auréole et les variations de l'échauffement des pôles sont, au commencement, de sens contraire pour tous les métaux examinés. Quand la self-induction prend des valeurs assez grandes, la température des pôles pour les métaux fer et nickel augmente de plus en plus, ainsi que l'éclat de l'auréole.

« Mais cette méthode n'est pas assez sensible pour étudier les variations de la température des pôles. C'est pour cela que nous nous sommes servi d'une pince thermo-électrique, reliée à un galvanomètre Deprez-d'Arsonval de 1,8 ohm de résistance ».

[2] « L'expérience suivante nous montre *l'influence, sur la décharge, d'un échauffement préalable des pôles*.

« Si l'on introduit dans une bobine de self-induction de 0,003 henrys environ un noyau de fer avant que les étincelles commencent à jaillir, la température des pôles reste presque la même que si la bobine de self-induction n'existait pas. Mais si le noyau de fer est introduit dans la bobine pendant que les étincelles jaillissent dans certains cas déterminés, il n'a aucune influence sur l'échauffement des pôles. *L'échauffement reste le même que si le noyau de fer n'existait pas dans la bobine.*

« Pour montrer que c'est l'échauffement des pôles qui est la cause de ce phénomène, nous avons interrompu le courant pendant une seconde environ et puis nous l'avons rétabli après avoir soufflé un peu dans l'intervalle des pôles. Les pôles reprennent alors le même échauffement que sans noyau de fer. Si l'interruption est prolongée pendant quelques secondes, les pôles sont refroidis et l'échauffement ne se produit plus,

« En général, le noyau métallique détruit l'effet calorifique de la self-induction. Cette destruction peut être ou totale ou partielle, suivant la valeur de la self-induction, les dimensions du noyau et sa nature, ainsi que la nature des pôles, leur forme et leurs dimensions ».

[1] « Contrairement à l'opinion de quelques physiciens, nous croyons que l'échauffement des pôles n'est dû, au moins dans ce phénomène, ni à la présence de la vapeur métallique, ni à l'arrachement aux pôles de particules incandescentes. En effet, la manière dont l'échauffement varie est contraire à ces opinions. Ainsi, par exemple, si l'on compare les variations de l'échauffement avec les variations de l'auréole ou l'intensité des raies métalliques dans le cas de petites valeurs de la self-induction, on voit que ces dernières diminuent rapidement d'intensité quand la self-induction augmente, tandis que la température des pôles, au contraire, augmente très vite. »

***Action d'un champ magnétique intense sur le flux anodique***, par **H. Pellat**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1046-1048.

Dans une Note présentée récemment à l'Académie (1), l'auteur indiquait que les actions que produit un champ magnétique intense sur le flux cathodique s'expliquent bien en admettant que le champ donne naissance à un frottement anisotrope très grand dans le sens perpendiculaire aux lignes de forces et beaucoup plus faible dans le sens parallèle à celles-ci. Dans cette nouvelle Note il décrit quelques expériences qui mettent en évidence de la façon la plus nette, une action du même genre sur le flux cathodique d'un tube de Geissler. (2)

Ces expériences prouvent que le flux anodique, tout comme le flux cathodique, éprouve une résistance (mot à prendre dans le sens mécanique) très grande à marcher dans une direction perpendiculaire aux lignes de forces d'un champ magnétique intense et n'en éprouve qu'une beaucoup plus faible à marcher dans le sens de ces lignes de forces.

Cette propriété explique parfaitement le phénomène de l'amincissement du faisceau anodique entre les pièces polaires de l'électro-aimant quand le tube est placé suivant l'axe de celles-ci : des lignes de forces partent de la paroi interne des trous des pièces polaires et se rapprochent ensuite beaucoup les unes des autres entre ces pièces, puisque le champ y est beaucoup plus intense que dans l'intérieur des trous. Le tube de forces a donc la forme d'un entonnoir à deux évasements, un à l'intérieur de chacun des trous, réunis par un canal étroit. C'est exactement la forme que prend le flux anodique quand le champ est très intense, à cause de la difficulté qu'il éprouve à couper les lignes de forces.

« Les particules ténues, ajoute l'auteur, qu'on admet aujourd'hui pour expliquer par leur mouvement le flux cathodique et le flux anodique sont électrisées, les unes positivement, les autres négativement. Cette électrisation est-elle nécessaire pour que le phénomène que je viens de signaler se produise ? Je vais tenter quelques expériences sur les rayons de Goldstein pour élucider cette question. »

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXI, p. 156, 26 avril 1902.

(2) « Un tube cylindrique, ayant 1 m de long et 17 mm de diamètre, présentant de belles stratifications, est disposé de façon qu'une région illuminée par les rayons anodiques, le milieu, par exemple, soit placée entre les pièces polaires cylindriques (7 cm de diamètre) d'un électro-aimant, juste assez distantes pour laisser passer le tube ; l'axe du tube est ainsi normal aux lignes de forces du champ magnétique. Tant que l'intensité de celui-ci ne dépasse pas 425 unités environ, il se produit le phénomène bien connu : le faisceau anodique est dévié conformément aux lois de l'électromagnétisme et vient former contre la paroi du tube un filet lumineux d'autant plus simple et d'autant plus intense que le champ est plus fort. Mais, si le champ vient à augmenter au delà de 425 unités, le filet lumineux, au lieu de s'amincir davantage, s'élargit au contraire de plus en plus à mesure que l'intensité du champ augmente, et, pour des intensités de 7 000 à 8 000 unités, la lumière anodique remplit de nouveau toute la section du tube à peu près uniformément, quoique la partie où se trouvait le filet lumineux soit un peu plus lumineuse que la partie opposée. Cette lumière anodique ne présente plus de stratifications. Dans ces conditions, la résistance du tube est devenue énorme : l'étincelle équivalente dans l'air atteint 24 mm, tandis qu'elle n'était que de 1 mm en l'absence du champ ou quand celui-ci est assez faible pour réduire à un mince filet le faisceau anodique (sur le parcours de 7 cm). »

» La grande résistance qui se produit dans les champs très intenses est rendue encore manifeste par l'expérience suivante qui est d'un curieux effet. Un tube semblable au précédent présente une dérivation formée par un tube de verre bien plus étroit (5 mm à 6mm de diamètre), qui contourne l'une des pièces polaires de l'électro-aimant de façon à permettre au flux anodique de ne pas passer dans le champ intense. Tant que le champ est faible, le flux anodique passe tout droit à travers le champ, sans que rien de visible ne passe dans le tube en dérivation. Mais, quand le champ devient intense, tout le flux anodique passe par la dérivation, en formant un filet très mince, sans que rien de visible ne passe tout droit dans le large tube à travers le champ intense.

» Si l'on place le premier tube employé dans le sens des lignes de forces du champ en l'introduisant à l'intérieur des trous dont sont percées suivant leur axe les pièces polaires, celles-ci ayant la même distance et donnant entre elles un champ de 7000 ou 8000 unités, le faisceau s'amincit, comme je l'ai déjà signalé (*Comptes rendus*, t. CXXXIII, 1901, p. 1200), en un mince cylindre occupant seulement l'axe du tube. Malgré cela, le tube n'est pas sensiblement plus résistant qu'en l'absence du champ : l'étincelle équivalente est encore de 1 mm. »

***Sur la loi de Maxwell $n^2 = K$ pour quelques composés contenant de l'azote***, par **Edm. Van Aubel**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1050-1052.

L'importante loi de Maxwell $n^2 = K$, qui établit une relation entre l'indice de réfraction et la constante diélectrique, comporte de nombreuses exceptions (1). L'auteur en signale quel-

(1) A. Batschinski, Ueber das Maxwell'sche Gesetz $n^2 = K$ in Bezug auf die Theorie des molekularen Baues

ques-unes relatives à des liquides organiques renfermant de l'azote.

Herman Schlundt[2] a mesuré les constantes diélectriques de plusieurs liquides purs, par la méthode de Drude. Il a trouvé (*loco citato*, page 516) que, dans les séries homologues, les constantes diélectriques diminuent lorsque le poids moléculaire augmente. Aucune exception à cette règle n'a été trouvée parmi les substances étudiées. Les amines primaires ont des constantes diélectriques plus élevées que les amines secondaires correspondantes, et celles-ci donnent lieu à des valeurs plus grandes que les amines tertiaires. Ainsi l'on a :

| | | |
|---|---|---|
| Éthylamine. . . | constante diélectrique | : 6,17 |
| Diéthylamine. . | » | : 3,58 |
| Triméthylamine. | » | : 2,95 |

Le contraire s'observe pour les indices de réfraction.

| Substances. | Indices de réfraction (*Tables de* H. Dufet, 1er fascicule). |
|---|---|
| Diéthylamine. . . | pour la raie D et à 17°,6 : 1,38730 |
| Triéthylamine . . | » D et à 20 : 1,40032 |
| Propylamine . . . | » D et à 16, 6 : 1,39006 |
| Dipropylamine . . | » D et à 19, 5 : 1,40455 |
| Tripropylamine. . | » D et à 19, 4 : 1,41756 |

Les tableaux suivants établissent que la loi de Maxwell $n^2 = K$ n'est pas vérifiée pour les liquides considérés qui renferment de l'azote.

1. *Combinaisons nitrées.*

| | Indices de réfraction (R. Loewenherz, *Zeitschrift für physik. Chemie*, t. VI, 1890, p. 558). |
|---|---|
| Nitrométhane . . . . | pour la raie D et à 20° : 1,3817 |
| Nitroéthane. . . . . | » D et à 20 : 1,3920 |

| | Constantes diélectriques (Hermann Schlundt, *loco citato*, p. 511). |
|---|---|
| Nitrométhane . . . . . . . . . . | 40,4 à 19° |
| Nitroéthane . . . . . . . . . . . | 29,5 à 18 |

2. *Nitrates.*

| | Indices de réfraction (R. Loewenherz, *loco citato*, p. 556). |
|---|---|
| Nitrate d'éthyle . . . | pour la raie D et à 20° : 1,3859 |
| Nitrate de propyle normal . . . . . . . | » D et à 20 : 1,3972 |
| Nitrate d'isobutyle. . | » D et à 20 : 1,4028 |

| | Constantes diélectriques (H. Schlundt, *loco citato*, p. 511). |
|---|---|
| Nitrate d'éthyle . . . . . . . . | 18,3 à 18° |
| Nitrate de propyle normal . . . | 13,9 à 18 |
| Nitrate d'isobutyle . . . . . . . | 11,7 à 19 |

der Körper (Communication préliminaire). *Zeitschrift für physikalische Chemie*, t. XXXVIII, 1901, p. 119-121.

[2] *Journal of physical Chemistry*, t. V, 1901, p. 503.

3. *Amines.*

| | Indices de réfraction (H. Dufet, *Tables*). |
|---|---|
| Diéthylamine. . . | pour la raie D et à 17°,6 : 1,38730 |
| Dipropylamine . . | » D et à 19, 5 : 1,40455 |

| | Constantes diélectriques (H. Schlundt, *loco, citato*, p. 508). |
|---|---|
| Diéthylamine . . . . . . . . . | 3,58 à 21° |
| Dipropylamine. . . . . . . . . | 2,90 à 22 |

4. *Nitriles.*

| | Indices de réfraction (H. Dufet, *Tables*). |
|---|---|
| Acétonitrile . . . | pour la raie D et à 16°,5 : 1,34596 |
| Propionitrile . . . | » D et à 14, 6 : 1,36888 |
| Valéronitrile (iso). | » D et à 18 : 1,3917 |
| Capronitrile (iso). | » D et à 18 : 1,4087 |

| | Constantes électriques (H. Schlundt, *Journal of physical Chemistry*, t. V, 1901, p. 165). |
|---|---|
| Acétronitrile. . . . . . . . . . | 36,4 à 21° |
| Propionitrile . . . . . . . . . | 26,5 à 22 |
| Valéronitrile (iso) . . . . . . . | » » |
| Capronitrile (iso) . . . . . . . | 15,5 à 22 |

Ainsi, pour les substances examinées dans ces quatre catégories de composés, la constante diélectrique diminue quand le poids moléculaire s'élève, tandis que l'indice de réfraction augmente dans ces conditions.

*Séance du 12 mai.*

***Sur le spectre continu des étincelles électriques***, par **B. Eginitis**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1106-1107.

Poursuivant ses recherches sur l'influence de la self-induction sur le spectre des étincelles, l'auteur est arrivé aux résultats suivants :

« 1. Le spectre des étincelles électriques ordinaires jaillissant entre deux électrodes métalliques est accompagné d'un spectre continu dont l'intensité est en général très faible par rapport à l'intensité des raies.

» Ce spectre continu est ordinairement uniforme presque partout le long de l'étincelle. Au contraire, son intensité n'est pas la même dans les différentes régions du spectre. [1]

» Le spectre continu ordinaire dans les mêmes conditions varie avec la nature du métal dont les pôles sont constitués. Le fer, le cobalt, le nickel, le manganèse, le magnésium sont parmi les métaux dont le spectre continu est très intense.

[1] « Outre ce spectre continu ordinaire, on en voit parfois apparaître un autre instantané et très étroit doué d'une intensité comparable ou supérieure à celle des raies. »

» 2. L'intensité du spectre continu ordinaire dépend de la valeur de la self-induction du circuit de décharge. Quand la self-induction augmente, le spectre continu diminue d'intensité avec une vitesse qui dépend du métal des électrodes. Cette variation est très rapide pour les métaux plomb et mercure, tandis que pour les métaux, fer, nickel, cobalt, magnésium, elle est beaucoup plus lente [1].

» 3. D'après Cazin, la production du spectre continu ordinaire est due aux particules incandescentes arrachées aux pôles. Si l'on remarque que, d'une part, les métaux dont le spectre continu est très intense sont justement, comme nous l'avons vérifié par un examen microscopique, les métaux qui donnent un très grand nombre de particules incandescentes (fer, nickel, cobalt, manganèse), tandis que, pour les autres métaux, elles sont beaucoup moins nombreuses; et que, d'autre part, dans le cas de l'augmentation de la self-induction, les particules deviennent de plus en plus rares, cette opinion de Cazin nous paraît comme une des causes probables de ce phénomène.

» L'existence de ces particules peut expliquer aussi les spectres continus instantanés que nous avons cités au commencement.

» Enfin nous ajoutons que quelquefois le spectre continu est très intense au voisinage des électrodes, surtout quand ces électrodes sont des fils plus ou moins fins; ce renforcement provient de l'incandescence des extrémités des pôles. »

**_Sur une perturbation magnétique observée le 8 mai_** par **Th. Moureaux**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1107.

« Le tremblement de terre du 6 mai n'a pas eu d'action sensible sur l'enregistreur magnétique du Val-Joyeux, ni sur celui de Perpignan où les secousses ont été ressenties.

» La catastrophe de la Martinique paraît avoir eu lieu le 8 mai vers huit heures du matin, heure correspondant à midi 14 minutes, temps moyen de Paris. Elle ne semble pas avoir agi sur le baromètre, comme l'éruption du Krakatoa.

» A l'Observatoire du Val-Joyeux, près de Saint-Cyr, une perturbation magnétique s'est manifestée à midi 6 minutes et a continué jusqu'à huit heures du soir, affectant surtout la composante horizontale. Il sera intéressant de rechercher si le même phénomène a été constaté dans d'autres observatoires et s'il est en rapport avec l'éruption de la Martinique. »

*Séance du 20 mai 1902*

**_Sur la force répulsive et les actions électriques émanées du Soleil. Application aux nébuleuses_**, par **H. Deslandres**, t. CXXXIV, p. 1134-1137.

Les *Annales de Drude* ont publié récemment un fort important Mémoire de Svante Arrhénius, intitulé « Sur la cause de l'Aurore boréale » et caractérisé par l'application nouvelle de la théorie des ions aux corps célestes. L'auteur fait plusieurs hypothèses principales pour expliquer l'aurore polaire, et ces mêmes hypothèses lui permettent d'expliquer plusieurs autres grands phénomènes, encore très obscurs, tels que la force répulsive émanée du Soleil, les rayons coronaux, la queue des comètes, les variations du magnétisme terrestre, et la lumière zodiacale ramenée à une queue cométaire de la Terre. L'auteur y aborde aussi une théorie des nébuleuses.

Dans sa note, M. H. Deslandres fait observer qu'il a présenté antérieurement une des hypothèses principales d'Arrhénius pour expliquer les mêmes phénomènes [1], puis il présente plusieurs remarques sur les hypothèses d'Arrhénius et, en plus, quelques idées personnelles sur la nature des nébuleuses.

Les hypothèses principales d'Arrhénius forment deux groupes distincts : un premier groupe de trois hypothèses, et une quatrième. Les trois premières hypothèses longuement développées sont les suivantes :

1° La force répulsive émanée du Soleil, admise par les astronomes, depuis Kepler, est la poussée du rayonnement lumineux, calculée

---

[1] « Si la self-induction prend des valeurs de plus en plus grandes, l'intensité du spectre continu ordinaire diminue de plus en plus et, à la fin, les raies existent sur un fond absolument obscur.

» Pour tous les métaux examinés, le spectre continu s'élimine complètement pour des valeurs convenables de la self-induction, qui sont en général très petites. »

[1] Ces idées n'ont pas été condensées dans un Mémoire d'ensemble ; elles sont disséminées dans plusieurs notes dont les principales sont : Observations de l'éclipse totale du Soleil de 1893 au Sénégal (Gauthier-Villars, mars 1896, p. 62 à 75) et Explication simple de plusieurs phénomènes célestes par les rayons cathodiques (*Comptes rendus*, t. CXXVI, mai 1898, p. 1323. — *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 427).

par Maxwell et Bartoli. Arrhénius suppose d'ailleurs que cette poussée est rejetée par les astronomes ; il suffit de rappeler qu'elle sert de base à la théorie des comètes de M. Faye ; 2° la surface solaire a des éruptions de gaz continues ; les gaz, en se condensant, forment des particules qui sont repoussées par le Soleil, si elles sont suffisamment petites ; 3° les gaz solaires sont ionisés, et, comme la condensation a lieu surtout autour des ions négatifs, les particules précédentes sont électrisées négativement.

» Ce sont ces particules électrisées, repoussées dans tous les sens par le Soleil avec des vitesses variables, qui permettent à Arrhénius d'expliquer tous les phénomènes célestes.

La quatrième hypothèse, exposée en dernier lieu, et brièvement, suppose l'émission de rayons cathodiques par les couches supérieures raréfiées de l'atmosphère solaire. « C'est justement, dit M. Deslandres, celle que j'ai présentée en 1896, comme une conséquence de l'origine électrique de la chromosphère solaire, reconnue par son spectre [1]. Or elle suffit seule à expliquer tous les phénomènes énumérés plus haut, sans autre hypothèse sur le Soleil, et en dehors de toute hypothèse sur la nature du rayon cathodique. L'expérience seule indique, en effet, que ce rayon apporte aux corps qu'il frappe une poussée répulsive, une charge négative et une illumination. Si d'ailleurs on le considère comme dû à un bombardement de matière très divisée, on retombe sur une autre particule électrisée que j'appellerai *particule cathodique*, pour la distinguer de la précédente, fournie par les trois premières hypothèses et nommée *particule ionique*.

» Mais probablement, les quatre causes supposées agissent en même temps ; dans ce cas, la particule cathodique a le rôle prépondérant. Car la force répulsive correspondante, qui est facile à constater dans le laboratoire, doit être plus forte que celle due à la particule ionique, qui n'a pas encore été reconnue expérimentalement d'une manière complète. De plus, comme elle a une très grande vitesse voisine de celle de la lumière, elle échappe à la lumière ultra-violette qui décharge les corps électrisés, alors que la particule ionique, de vitesse beaucoup plus faible perd ses propriétés électriques. Enfin Lénard a montré récemment que les corps soumis aux rayons ultra-violets prennent une charge positive et émettent des rayons cathodiques [1]. »

[1] Presque au même moment, juin 1896 (*Archives de Genève*), Birkeland faisait la même hypothèse pour expliquer l'aurore boréale.

[1] M. Deslandres ajoute : « D'autre part, lorsque j'ai exposé en 1896 l'hypothèse cathodique, la théorie régnante, qui était jugée ne pas suffire, reposait sur un rayonnement d'induction électrique du Soleil. Récemment Nordmann a repris cette idée avec le nom plus moderne et aussi plus précis de *rayonnement hertzien* et l'a développée dans plusieurs notes intéressantes. Le rayonnement hertzien intervient probablement, mais j'estime encore que le rayonnement cathodique explique seul et simplement tous les détails des phénomènes.

» Quant aux nébuleuses, Arrhénius explique simplement leur lumière par les particules électrisés qui leur arrivent de tous les points de l'espace. Cette explication est insuffisante, d'autant que notre atmosphère, qui est interposée, devrait par la même cause avoir un éclat au moins égal. Mais l'étude récente des nébuleuses par la photographie indique une voie nouvelle et féconde. Presque toutes les nébuleuses montrent plus ou moins la structure en spirales ; j'ai reconnu cette structure avec la grande lunette de Meudon, dans des nébuleuses très petites qui échappent aux instruments ordinaires et je terminais ainsi la note qui relate ces observations :

« La forme spirale des nébuleuses implique une force » répulsive émanée du noyau, comparable à la force » répulsive qui forme le noyau des comètes. Cette force, » que l'on peut opposer à l'attraction newtonienne, doit » jouer un rôle important dans l'évolution des mondes » stellaires. » La lumière des nébuleuses, comme la force répulsive, doit provenir du noyau. Il suffit de supposer que ce noyau, comparé à notre soleil, a une masse plus faible, un rayonnement ultra-violet et cathodique plus fort, ou encore émette des rayons Becquerel. Or on a constaté que ce noyau, comme aussi la nouvelle étoile de Persée, avait un spectre ultra-violet relativement intense.

» Tous les corps célestes, qui sont formés par la même matière, doivent présenter les mêmes phénomènes, mais dans des proportions différentes, d'où la diversité des apparences. Cette idée philosophique m'a conduit, en 1896, à annoncer que la terre devait avoir une couronne comme le Soleil et une queue comme les comètes. De même, le Soleil doit, en très petit, ressembler à une nébuleuse. En effet, l'expérience indique que toute grande protubérance est accompagnée d'une autre grande protubérance diamétralement opposée. Les rayons cathodiques correspondants sont alors comparables aux deux spires diamétralement opposées des nébuleuses. Supposez la protubérance et la force répulsive beaucoup plus grandes, et vous avez la nébuleuse classique. On peut ainsi concevoir une évolution des corps célestes caractérisée par des variations des forces attractive et répulsive telles que chacune soit à son tour prépondérante ; on aurait une oscillation perpétuelle du type nébuleuse au type soleil et du type soleil au type nébuleuse.

» En terminant, je rappelle une vérification expérimentale de ces théories, déjà signalée par moi en 1898 : les augmentations d'éclat, soudaines et momentanées, des

***Sur le spectre des étincelles***, par **B. Eginitis**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1137-1139.

1. MM. Schuster et Hemsalech, dans leurs recherches sur les étincelles, avaient réussi à éliminer les raies de l'air du spectre des étincelles ([1]). Il semble à l'auteur que la cause principale de cette élimination est la présence de la vapeur métallique.

En effet, d'après MM. Schuster et Hemsalech, les raies de l'air s'éliminent complètement par l'augmentation de la self-induction du circuit de décharge. D'autre part, d'après les recherches de Feddersen ([2]), le trait existe dans tous les cas, mais son intensité est en général très faible. Mais, entre ces deux séries de recherches, il y a une grande différence. Feddersen faisait éclater une seule étincelle, tandis que MM. Schuster et Hemsalech font éclater un certain nombre d'étincelles. Chacune de ces décharges traversait ainsi un milieu rempli de vapeur métallique par les décharges précédentes.

Seguin ([3]), d'autre part, avait remarqué que le trait, qui n'était pas distinct par le rapprochement des pôles, apparaît quand on chasse l'auréole par un soufflage; en outre, quand il éloignait les électrodes, les raies de l'air apparaissaient et augmentaient d'intensité avec l'augmentation de la distance explosive.

D'après M. Hemsalech ([4]), les raies de l'air s'éliminent quand la valeur de la self-induction est égale à 0,00286 henry, valeur qui est très petite relativement aux valeurs employées par Feddersen. Mais M. Eginitis a montré que les valeurs de la self-induction qui éliminent les raies de l'air et qui varient avec la nature du métal et la distance explosive, sont d'autant plus petites que les métaux sont plus volatils (sodium, potassium, mercure). Dans ce cas, on peut aussi faire apparaître les raies de l'air par un soufflage (cela ne réussit pas quand la self-induction est très grande, à cause de la faiblesse du trait).

comètes doivent correspondre à leur passage dans le méridien solaire d'une tache, d'une facule ou d'une protubérance importante. »

([1]) *Phil. Trans.*, t. CXCIII, 1899, et Hemsalech, *Thèse de Doctorat*. Voir dans *L'Éclairage Électrique* du 10 août 1901, t. XXVIII, p. 206, l'article de M. E. Néculcéa sur ces travaux.

([2]) *Ann. Chim. et Phys.*, 3e sér., t. LXIX, 1863, p. 193.

([3]) *Ann. Chim. et Phys.*, 3e sér., t. LXIX, 1863, p. 106-108.

([4]) *Comptes rendus*, t. CXXXIII, 1901, p. 1901. — *Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 448, 21 déc. 1901.

D'après ces expériences, la vapeur métallique paraît être la cause principale de l'élimination des raies de l'air et du trait. Cette élimination est facilitée par l'augmentation de la self-induction qui diminue l'énergie du trait.

2. L'auteur rappelle que dans une note précédente ([1]) il a annoncé que, dans les spectres des étincelles, quand les pôles sont constitués de différents métaux (mélanges ou alliages), on peut avoir, par la variation de la self-induction du circuit de décharge, des effets différents qui montrent la variété de la matière dont les pôles sont constitués. Dans ces cas, on peut avoir des variations différentes de l'intensité des raies ou une élimination complète du spectre d'un ou de plusieurs métaux. « Ainsi, la variation de la self-induction possède, dit M. Eginitis, la propriété très importante de faire apparaître les *différences de quelques propriétés de la matière* ([2]). »

([1]) *Écl. Élect.*, t. XXXI, p. 194, 3 mai 1902.

([2]) » D'après MM. Schuster et Hemsalech, les différentes raies d'un métal pur n'ont pas la même vitesse moyenne le long de l'étincelle, et ils avaient conclu de leurs expériences que probablement cette différence provenait d'une différence au point de vue du poids atomique.

» Si l'on compare les vitesses moyennes des raies de quelques métaux simples et les variations des mêmes raies correspondant à une valeur de la self-induction, on voit que les raies qui ont la même vitesse moyenne ont subi une variation du même genre. Ces raies paraissent ainsi former des groupements.

» Des expériences que nous avons faites jusqu'à présent soit sur des métaux simples (sodium, potassium, mercure, platine), soit sur des mélanges ou des alliages, et en tenant compte des expériences de MM. Schuster et Hemsalech, nous croyons qu'on peut conclure que :

» 1° L'intensité des différentes raies d'un métal dépend de la nature des métaux avec lesquels il coexiste, et de la nature du milieu (qui peut être formé par les pôles eux-mêmes pendant les décharges).

» 2° Quelques raies des métaux simples forment des groupements dont les variations sont dues probablement à la variété de la constitution des particules rayonnantes et de la nature des pôles.

» 3° Une relation paraît exister entre ces groupements et les groupements des raies qui ont la même vitesse.

» 4° Les vapeurs métalliques pendant les décharges présentent des propriétés électriques qui varient avec leur nature et qui diffèrent considérablement de celles de l'air.

» 5° L'usage de la self-induction dans les décharges électriques à travers les gaz constitue une méthode qui permet d'examiner la constitution de la matière.

*Le Gérant* : C. NAUD.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



# L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS

L'éclairage électrique des trains peut être réalisé sous deux formes distinctes, vieilles, toutes deux, de vingt ans passés : éclairage obtenu sans le secours de dynamos sur les trains, éclairage comportant l'emploi de dynamos sur les trains. Ces deux catégories de systèmes peuvent elles-mêmes être subdivisées en deux classes, suivant que la source d'électricité est placée sur un ou deux véhicules seulement, ou que chaque véhicule du train est alimenté d'une façon indépendante.

## *A.* Éclairage des trains par accumulateurs seuls

*I.* **Eclairage d'un train entier par une ou deux batteries seulement.** — Ce procédé est employé depuis 1892 ou 1893 sur les chemins de fer de l'État danois et y a pris un assez grand développement. D'après des publications faites récemment sur ce système en Allemagne, il y aurait 700 voitures éclairées de cette manière.

Chaque compartiment contient deux lampes de 8 à 5 bougies, suivant la classe, branchées sur deux circuits distincts alimentés par deux batteries placées dans les fourgons ; il y a donc deux canalisations principales régnant le long du train et comportant, entre les voitures, deux accouplements ayant, paraît-il, la forme extérieure des raccords du frein Westinghouse. En cas de coupure du train ou de mauvais contact dans une des canalisations, il reste toujours une lampe allumée dans les compartiments. Chaque batterie se compose de 36 éléments de 130 ampères-heure, à matière rapportée du système Hagen, répartis en 9 boites de 4 éléments, disposées en 3 étages dans un coin du fourgon, avec des connexions automatiques, consistant en lames de cuivre fixées sur les côtés de la boîte et venant s'appuyer sur des lames à ressort montées dans l'intérieur des casiers. Les lampes fonction-

nent à la tension de 66 volts environ. L'énergie emmagasinée ainsi dans le train n'est pas très grande, mais sur les chemins de fer danois, les trains ne sont pas très longs et n'ont pas de grands trajets de nuit, de sorte que les batteries suffisent, en général, pour assurer une quinzaine d'heures d'éclairage ; la recharge se fait sur le train même en quatre heures et demie, ce qui ne présente pas de difficultés, parce que les trains ont de longs garages.

Le même système est employé sur les petits chemins de fer particuliers suédois, et, d'après le rapport de MM. Chaperon et Hérard, au Congrès des chemins de fer de 1900, sur les chemins de fer de la Sicile occidentale et sur une partie des trains des chemins de fer de l'État du Cap, mais les renseignements font défaut sur l'importance de ces applications.

Les dépenses totales d'établissement et d'entretien sont sensiblement plus faibles avec ce procédé qu'avec le système par batteries isolées sur chaque véhicule, car deux batteries assez fortes coûtent moins cher et sont plus faciles à surveiller qu'une série de petites. L'éclairage des trains par des batteries placées dans le fourgon convient bien pour les petits réseaux, où il est appliqué, et dont les trains n'ont pas de très grands parcours de nuit, ont des périodes de repos assez longues et ne changent pas souvent de composition ; mais sur les grands réseaux où les trains contiennent beaucoup de véhicules, ont peu de stationnement ou bien comportent des intercalations fréquentes de voitures de types variés, cette méthode n'est pas à recommander et n'a, d'ailleurs, pas reçu d'applications, parce qu'elle entraîne les sujétions d'une canalisation générale et d'une immobilisation de charge, tout en conservant de fortes dépenses d'accumulateurs.

*II.* **Eclairage des voitures par batteries indépendantes.** — Je ne citerai que pour mémoires les essais d'éclairage électrique des voitures à l'aide de batteries indépendantes de piles primaires, exécutés et vite abandonnés, en 1884, dans diverses compagnies anglaises (piles Holmes), en 1887, sur les wagons-lits (piles Deruelles), et en 1890, sur l'Est français (piles Méritens). Les piles primaires produisent un courant beaucoup trop onéreux et inconstant, et exigent des manipulations de liquide beaucoup trop désagréables pour qu'on puisse les appliquer pratiquement à l'éclairage des voitures de chemins de fer.

Les accumulateurs, au contraire, donnent un courant sensiblement constant pendant toute la durée de leur décharge et l'on n'a presque jamais à toucher à leur liquide. Rendre les voitures complètement indépendantes en les munissant chacune d'une petite batterie d'accumulateurs, paraît, à première vue, une solution très simple et très séduisante. Aussi voyons-nous ce procédé expérimenté dès que les accumulateurs entrent dans la période de fabrication industrielle. Les premiers essais remontent, en effet, à 1880, et furent exécutés, sans succès, au London Brighton Ry. Des essais furent entrepris ensuite en 1883, à la Compagnie d'Orléans et de 1885 à 1887, dans diverses compagnies américaines et aucun de ces essais ne fut suivi d'application, parce que les accumulateurs se détérioraient alors beaucoup trop rapidement. Il faut arriver à 1889 pour voir l'éclairage électrique par accumulateurs appliqué chez un petit nombre de véhicules, mais d'une façon définitive, à la Compagnie du Nord française et à la Compagnie suisse du Jura-Simplon.

Je vais passer en revue les applications réalisées en Europe en les divisant en deux groupes, suivant que les accumulateurs sont chargés dans une usine spéciale, ou dans les trains mêmes. On manque de renseignements sur les applications réalisées en Amérique ; on sait toutefois qu'il n'y a, dans cette contrée, qu'un nombre infime de voitures éclairées par accumulateurs.

α. Installations où la charge est effectuée dans une usine. — *Chemin de fer suisse du Jura-Simplon.* — C'est dans cette Compagnie que l'éclairage électrique par accumulateurs

a pris le développement le plus rapide et le plus complet. Trois ans après le début des essais, qui commencèrent en décembre 1888 sur une voiture, la Compagnie avait déjà équipé une centaine de voitures ; et, dès 1894, *tout son matériel* de voitures et de fourgons était éclairé à l'électricité, abstraction faite de quelques vieux véhicules bons à démolir (1). C'est la seule Compagnie de chemin de fer qui ait fait une application *générale* de l'électri-

(1) J'ai déjà donné dans ce journal la description détaillée de l'équipement des voitures et des usines de charge; je me contenterai donc de rappeler les traits généraux de ces installations. Sauf dans les compartiments de 1re classe qui sont très petits, on ne fournit dans les grands compartiments de 2e et 3e classes qu'un éclairage modéré de manière à ne pas consommer trop de courant. On arrive ainsi à loger la batterie entière, composée de 9 éléments de 125 ampères-heure dans une seule boîte pesant 120 à 130 kg et munie de connexions automatiques par bandes inférieures en laiton. Ce dispositif exige un nettoyage fréquent des lames de contact si l'on veut éviter les mauvais contacts et les courts-circuits. On place un ou deux circuits d'une batterie par voiture, suivant le nombre de lampes à éclairer; chaque circuit est muni d'un compteur horaire, système Aubert. Le nombre d'heures que l'on peut demander à une batterie déterminée est inscrit sur son coffre; ce chiffre varie suivant le cas entre 11 et 21 heures.

Pendant le stationnement dans les gares principales du réseau, au nombre de 12, où se trouvent des dépôts d'accumulateurs, les visiteurs jugent d'après l'indication du compteur et les marques du coffre si les batteries peuvent atteindre le poste de dépôt suivant ou doivent être échangés.

L'échange des batteries se fait en grande partie à Bienne et à Fribourg, où s'arrêtent un grand nombre de trains, et où ont été installées les deux usines de charge placées dans les dépendances des deux grands ateliers de réparation de la Compagnie; les batteries échangées dans les autres postes de dépôt d'accumulateurs sont amenées dans ces deux gares soit dans des fourgons ordinaires, soit dans des fourgons spéciaux. Les batteries, échangées ou amenées par fourgons ordinaires à la gare de Bienne, sont placées par groupes de 10 sur de petits chariots munis de contacts semblables à ceux des voitures, qui sont poussés à bras sur une voie étroite de 600 m de longueur et introduits dans l'intérieur de l'usine de charge; les accumulateurs sont chargés sur les chariots mêmes et réexpédiés ensuite à la gare de Bienne; la charge dure environ 9 heures. L'usine de Fribourg étant peu éloignée de la gare, les accumulateurs y sont transportés sur de simples chariots à bagages puis enlevés et posés, à l'aide de palans mobiles, sur des bancs de charge munis de contacts semblables à ceux des voitures. A l'usine de Bienne, et surtout à l'usine de Fribourg, arrivent, de deux ou trois gares très importantes, des fourgons spéciaux, pouvant contenir 40 ou 60 batteries, qui viennent se ranger près de la salle de charge, et sur lesquels les accumulateurs sont chargés sans transbordement. Ces fourgons, au nombre de 12, contiennent à cet effet des étagères munies de contacts et de prises de courant convenables. Grâce à cette organisation judicieuse, les manutentions de boîtes sont réduites au minimum.

Le transport des accumulateurs dans les divers postes de dépôt cause une immobilisation assez grande des batteries, ce qui oblige à avoir un effectif élevé de batteries. C'est ainsi que la Compagnie possède 1 150 batteries pour un total de 668 voitures, dont un certain nombre en réserve ou circulant entièrement de jour.

Toutes ces batteries, sauf 10 du type Planté, fournies par Œrlikon, sont du type à oxyde rapporté, ce qui est presque forcé pour obtenir la capacité demandée à la batterie sans atteindre un poids excessif; 840, du type Huber, ont été fabriquées par l'usine de Marly, près Fribourg et 300 ont été fournies par la fabrique d'Œrlikon. Dans les deux cas, les plaques positives sont semblables et constituées par un grillage à pastilles de 1/2 cm²; les pastilles de Marly sont carrées et percées d'un trou, celles d'Œrlikon sont pleines et triangulaires. Les plaques sont séparées par des feuilles en ébonite perforées et disposées dans des bacs en ébonite fermés par un couvercle étanche collé au chatterton. La réparation des accumulateurs, qui était d'abord effectuée à forfait par l'usine de Marly, est maintenant faite par la Compagnie elle-même dans un petit atelier, joint à l'usine de charge de Bienne. Les deux usines de charge de Fribourg et de Bienne reçoivent toutes deux d'une usine centrale étrangère du courant à haute tension qu'elles sont obligées de transformer; à Fribourg, c'est du courant continu à 600 volts; à Bienne, du courant triphasé à 1 800 volts. Le courant, qui est produit dans les deux cas dans des usines hydrauliques, est vendu au chemin de fer à 0,05 fr le cheval-heure livré par la station génératrice; même en tenant compte du rendement des sous-stations, l'énergie dépensée pour la charge revient très bon marché. D'autre part, toute l'installation est établie et exploitée le plus économiquement possible, de sorte qu'on peut arriver à un prix de revient de l'éclairage assez réduit.

Mais il ne faut pas se baser sur l'application réalisée au Jura-Simplon pour en conclure qu'un grand réseau a intérêt à adopter l'éclairage électrique par accumulateurs sur tout son matériel. Sur un réseau étendu on ne retrouve pas les conditions favorables que l'on rencontre au Jura-Simplon (en Suisse aucun train, en dehors de quelques express internationaux ne circule après minuit); les voyages sont plus longs et l'on a besoin de donner un éclairage abondant, il faut donc avoir des batteries plus puissantes. Les arrêts étant beaucoup plus courts qu'en Suisse, il faut employer des boîtes plus maniables; il faut donc diviser la batterie en plusieurs boîtes, d'où seconde cause de dépense. Enfin les précautions nécessaires pour opérer le changement des batteries et leur cheminement vers les usines de charge, qui peuvent être prises lorsqu'il s'agit de lignes en petit nombre et peu distantes des usines, seraient pratiquement impossibles à appliquer sur toutes les lignes d'un réseau très étendu comportant des distances très grandes et des directions très diverses.

cité pour l'éclairage de ses trains. Elle possède actuellement 668 véhicules, voitures ou fourgons, éclairés à l'électricité, sur un effectif total d'environ 800 véhicules.

*Autres chemins de fer suisses.* — Les autres réseaux suisses, qui sont beaucoup moins importants que celui du Jura-Simplon, emploient, en général, l'éclairage au gaz d'huile. Il y a pourtant 139 voitures éclairées à l'électricité au Central Suisse, avec une station de charge à Olten, 20 au Gothard avec une station de charge à Chiasso et 65 voitures sur les réseaux de Berne à Neufchâtel et du Jura-Neufchâtelois avec une usine de charge à Yverdon. Dans toutes ces compagnies, on emploie des boîtes d'accumulateurs possédant les mêmes contacts automatiques que ceux du Jura-Simplon.

*Bureaux-postes allemands.* — Presque tous les bureaux-postes ambulants de l'Allemagne du Nord sont éclairés par accumulateurs depuis sept ou huit ans. Les 1500 wagons aménagés comprennent, en général, 6 lampes fixes de 12 bougies et une lampe portative, toutes munies d'un interrupteur, et contiennent une batterie d'accumulateurs Böse de 16 éléments ; les grands bureaux-postes qui servent au service international portent deux batteries et contiennent 12 lampes. Les batteries se composent de 4 boîtes de 4 éléments de 120 ampères-heure de capacité, logées sous une table dans l'intérieur du wagon et réunies entre elles par des fils serrés sous des écrous. Les accumulateurs Böse sont constitués avec des plaques ne comportant qu'une ou deux grandes pastilles et sont très légers ; chaque boîte pèse 46 kg seulement. Les petits bureaux renferment 184 kg d'accumulateurs et les grands 368 kg (1).

Le service des postes allemandes emploie environ 1 000 batteries Böse. Cette administration emploie également environ 500 petites batteries transportables, composées d'une boîte de 20 kg munie d'une poignée et renfermant 8 éléments de 25 ampères-heure et sur laquelle on peut brancher une lampe amovible à réflecteur, de 7 bougies, servant à l'éclairage des bureaux auxiliaires, accouplés aux wagons-postes pour le transport des colis-postaux (Beiwagen).

L'entretien des accumulateurs est effectué à forfait à la Société Böse à raison de 20 p. 100 du prix d'achat.

L'administration des postes allemandes est très satisfaite de cette organisation, parce qu'elle se trouve ainsi indépendante des compagnies des chemins de fer qui lui vendaient le gaz d'huile très cher et qu'elle obtient dans ses bureaux ambulants un éclairage brillant et très hygiénique.

L'Administration des postes bavaroises a 40 bureaux ambulants et celle des postes saxonnes, 80 bureaux ambulants, éclairés de la même manière, par accumulateurs Böse. Les postes autrichiennes ont également 50 bureaux-postes éclairés par accumulateurs Böse, rechargés à la gare du Nord de Vienne, en même temps que ceux des voitures du chemin de fer du Nord Kaiser-Ferdinand.

*Bureaux-postes français.* — L'Administration des postes françaises a mis en service, depuis un an, une trentaine de nouveaux bureaux ambulants, très spacieux, de 14 et même

(1) Les bacs sont en celluloïd, ce qui permet d'examiner les éléments sans les démonter. Mais cette matière est facilement inflammable et il n'y a guère d'autres fabricants que la société Böse qui l'ait conservée ; elle a été remplacée presque partout par l'ébonite.

Les boîtes sont enlevées et portées dans les stations de charge, au nombre d'une dizaine, installées dans les gares importantes. Les boîtes étant légères, leur manutention est facile, mais leur accouplement est assez long à exécuter. Comme elles sont peu encombrantes on peut en placer jusqu'à quatre étages superposés ; les salles de charge ont ainsi des dimensions réduites et ont pu être installées dans l'intérieur même des gares ; il est vrai que, quelquefois, il a fallu les mettre en sous-sol. Dans ces stations de charge, le courant est pris sur l'usine de la gare lorsque celle-ci est éclairée à l'électricité, ou produit par moteur à gaz.

18 m de long, et dont le séjour est rendu très confortable pour les employés par l'usage de l'éclairage électrique dont ils ont tous été munis. Ces wagons-postes sont installés à peu près de la même manière que les wagons allemands, à l'aide d'accumulateurs des types Dinin (la maison Dinin construit, en France, les accumulateurs de la société Böse), de la société des Métaux, Fulmen, Oméga, Champagne, qui, sauf sur la ligne du Nord, sont tous transportés et rechargés dans des usines situées dans les différentes gares de Paris ou de Bordeaux. Chaque véhicule contient 2 batteries de 32 éléments, de 180 ampères-heure, pesant 720 à 780 kg et porte 24 lampes de 10 bougies, soit 240 bougies en tout. Les lampes sont un peu poussées, de sorte que les accumulateurs peuvent fournir vingt-cinq heures d'éclairage.

L'Administration compte étendre progressivement l'éclairage électrique à tous les petits bureaux ambulants de 6,800 m, dont 6 sont déjà éclairés par 10 lampes de 6 bougies, sur la ligne de l'Est, à l'aide de batteries Dinin simples, identiques à celles des bureaux-postes allemands.

*Est français.* — A la suite d'essais effectués de 1898 à 1899 sur quatorze voitures, la Compagnie de l'Est a installé, en 1900, l'éclairage électrique sur toutes ses voitures à intercirculation, au nombre de 164; 154 de ces voitures sont éclairées par accumulateurs seuls. Les compartiments à 6 ou 8 places sont munis chacun de 2 lampes de 6 bougies, disposées de part et d'autre de la lanterne à huile conservée comme éclairage de secours, dans deux fausses lanternes fixées au plafond et fermées par une coupe en cristal taillé et dépoli s'ouvrant de l'intérieur; la lanterne renferme un réflecteur en plaqué d'argent et la lampe à incandescence est placée horizontalement, faute de hauteur : le filament des lampes paraît se ressentir davantage des trépidations dans cette position que dans la verticale.

Les voyageurs peuvent éteindre complètement chacune des deux lampes de compartiment; il en résulte une économie notable. En outre, l'éclairage à l'huile a été conservé dans le couloir et le water-closet; une voiture ne représente ainsi que 60 bougies d'éclairage. Les lampes sont groupées en 2 circuits ayant le fil négatif commun et les fils positifs séparés; cette disposition évite les inconvénients de la mise en parallèle de 2 batteries, tout en conservant l'indépendance de ces batteries. Les batteries sont calculées de façon à pouvoir fournir vingt heures d'éclairage, la décharge étant arrêtée à 1,9 volt, ce qui dispense d'employer un rhéostat ou d'ajouter des éléments supplémentaires à la fin de la décharge. Les 2 batteries d'une voiture se composent chacune de 3 boîtes de 4 éléments de 75 ampères-heure, pesant de 60 à 70 kg, soit 360 à 420 kg par véhicule. Les boîtes sont réunies entre elles par des fiches rondes fendues que l'on introduit dans une douille. Les accumulateurs employés sont de divers types : Tudor, Métaux, Pollak ; dans tous les cas, les bacs doivent avoir des couvercles hermétiques, en raison de la manutention des boîtes qui a lieu après chaque voyage ou après 2 ou 3 voyages pour les parcours comportant peu d'éclairage. Les boîtes sont transportées par 6 sur de petites charrettes à 2 roues, suspendues sur ressorts et traînées à bras, des quais jusqu'à l'usine de charge, située au fond de la gare de Paris et qui emprunte le courant au secteur.

Aucune autre compagnie française n'emploie l'éclairage par accumulateurs amovibles (1).

(1) La Compagnie de P.-L.-M. a fait usage de ce système de 1892 à 1898 sur 50 voitures de la banlieue de Paris, munies d'accumulateurs Fulmen, et l'a abandonné complètement en raison des difficultés que causait la manutention des accumulateurs en gare de Paris.

Les chemins de fer de l'Etat français ont également remplacé par le système à dynamo le procédé employé de 1898 à 1901 pour l'éclairage de 9 voitures à couloir et consistant à échanger des accumulateurs en gare de Saintes et à les porter à recharger dans les ateliers de Saintes.

*Chemins de fer de l'État hongrois.* — L'électricité a été appliquée à l'éclairage des grandes voitures à couloirs de 1^re^ et 2^e^ classe depuis 1896 et 125 voitures sont actuellement aménagées. Les lampes, au nombre de 2 par compartiment, sont de 10 bougies en 1^re^ classe et de 6 bougies en 2^e^ classe ; elles sont placées dans le réflecteur ordinaire de la lanterne à huile, disposition peu coûteuse, mais donnant une mauvaise répartition de la lumière. Chaque voiture absorbe, au total, environ 160 bougies. Les lampes des compartiments sont groupées en dérivation sur 2 circuits distincts, mais elles peuvent être placées en série sur l'un ou l'autre des circuits, à l'aide d'un commutateur placé dans les compartiments à la disposition des voyageurs. Chaque circuit comprend 1, 2, 3 et même 4 batteries simples réunies en parallèle et correspondant à des durées d'éclairage de douze, vingt-quatre, trente-six et quarante-huit heures, suivant les trajets à effectuer. Les accumulateurs sont du type Tudor et du type Böse, de 90 ampères-heure de capacité : ils sont groupés par boîtes de 6 éléments, réunies entre elles par des contacts à fiches. Les bacs ont des couvercles hermétiques collés. Une batterie de 2 boîtes pèse 105 kg pour les Böse et 150 kg pour les Tudor; le poids d'accumulateurs, par voiture, varie donc de 210 kg à 840 kg ou de 300 à 1 200 kg, suivant le cas.

Les boîtes d'accumulateurs sont enlevées des voitures dans les deux gares de l'Est et de l'Ouest de Budapest, et transportées sur de petits chariots dans les usines de charge situées dans ces gares.

*Chemin de fer autrichien du Nord-Kaiser-Ferdinand.* — Les premiers essais d'éclairage électrique ont commencé en 1893 ; la Compagnie possède actuellement 65 voitures et fourgons munis de ce mode d'éclairage.

La plupart des voitures aménagées sont des voitures mixtes, de 1^re^ et 2^e^ classes, à couloir, que l'on munit de 2 batteries d'accumulateurs, pouvant fournir trente à trente-cinq heures d'éclairage environ, et alimentant 2 circuits distincts de lampe avec positif commun. Dans les voitures de 3^e^ classe, faisant de faibles parcours, on ne met qu'une batterie ; on en met 3 dans les batteries mixtes pouvant être éclairées cinquante heures ; dans ces 2 cas, les circuits de lampes et les batteries sont alors complètement réunis en parallèle. Chaque compartiment renferme 2 lampes de 6 bougies, branchées en dérivation sur les 2 circuits d'accumulateurs et que les voyageurs peuvent mettre en veilleuse en les groupant en série sur l'un des circuits. Les batteries de type Tudor et Böse se composent de 6 boîtes, de 2 éléments pesant 40 kg dans le 1^er^ cas et 28 kg dans le second, soit, en général, 336 à 480 kg par voiture ; les boîtes sont réunies entre elles de la même manière qu'à l'État hongrois par fiches. Les voitures de 3^e^ classe ne renferment que 8 lampes de 6 bougies, soit 48 bougies et les voitures mixtes 16 lampes de 6 bougies, soit 96 bougies. Les accumulateurs ont une capacité de 180 ampères-heure. Les lampes sont fixées au plafond, de part et d'autre de la lampe à huile, conservée comme éclairage de secours, sur de petits réflecteurs métalliques et enfermées dans une coupe. Lorsque j'ai visité l'installation de cette Compagnie, en 1898, les coupes étaient unies en 3^e^ classe et dépolies en 1^re^ et 2^e^ classes, ce qui enlevait une quantité sensible de lumière.

Les accumulateurs sont portés sur de petits chariots dans l'usine de charge, située dans a gare du Nord, à Vienne.

Les chemins de fer de l'État autrichien n'ont qu'une vingtaine de voitures éclairées par accumulateurs, rechargées à la gare de l'Ouest à Vienne ou à Landau.

*Chemins de fer italiens de la Méditerranée.* — Cette Compagnie a entrepris, en 1893, des essais d'éclairage électrique par accumulateurs, qui ont été suivis d'application assez

étendue. Lorsque j'ai visité les installations de cette Compagnie, en 1899, elle avait installé l'éclairage électrique sur 113 voitures de 1^re^, 2^e^ et 3^e^ classes, aux trains express à water-closets, du type à compartiments séparés en très petits couloirs, adopté sur certaines voitures du P.-L.-M.; ce nombre doit s'être accru, car on était décidé à appliquer l'électricité à toutes les nouvelles voitures à couloir qui seraient construites (1).

*Chemins de fer de l'Adriatique.* — Les Chemins de fer italiens de l'Adriatique ont appliqué, depuis le mois de novembre dernier, l'éclairage électrique sur 80 voitures de 1re et 2e classes, à couloir partiel, circulant dans les trains express, et, d'après les renseignements qui m'ont été fournis par la Compagnie, ce mode d'éclairage va être étendu prochainement à une centaine de voitures existantes, et aux voitures nouvelles à construire (2).

(1) La disposition des lampes est assez curieuse : Dans l'ancienne cavité du plafond occupée par la lanterne à huile, on a placé une petite lampe dont le réflecteur porte en son centre une lampe de 16 bougies et dans une position excentrée une petite lampe de 6 bougies; à l'aide d'un bouton placé à l'intérieur du compartiment près de la lanterne, les voyageurs peuvent éteindre la lampe de 16 bougies et allumer la lampe de 6 bougies considérée comme une veilleuse; la commutation s'opère à l'aide d'un électro-aimant placé sur le porte-lampe, qui est commandé par le bouton, mais qui agit aussi automatiquement dans le cas de rupture de la lampe principale. Ce système est bien compliqué et il est à craindre qu'il donne lieu à des ratés, comme cela est arrivé pour un dispositif analogue employé au P.-L.-M. lors des essais dont il a été parlé plus haut. Dans les water-closet les lanternes sont semblables et portent 2 lampes; mais la lampe principale n'est que de 6 bougies et la lampe de secours ne s'allume qu'en cas d'extinction de la première. Une voiture représente une intensité lumineuse totale de 60 à 76 bougies environ. Elle est alimentée par deux batteries en parallèle lorsque la durée d'éclairage ne doit pas dépasser 18 heures et pour les plus grands trajets, par quatre batteries en parallèle pouvant fournir 36 heures d'éclairage. Toutes les voitures sont munies d'un compteur Aubert, indiquant le nombre d'heures d'éclairage effectuées. Suivant les chiffres lus sur ce compteur, les agents des gares de Turin, Milan et Rome, où se trouvent des usines de charge, si les batteries peuvent achever leur voyage ou doivent être remplacés, ce qui ne présente ici aucune difficulté, parce que les voitures éclairées à l'électricité ne circulent que sur la grande ligne principale, presque unique, du réseau. Les boîtes d'accumulateurs sont transportées sur de petits chariots dans les usines de charge, que l'on a eu soin de placer dans l'intérieur même des gares, à proximité des quais; cette condition a été reconnue indispensable pour rendre la manutention facile et a conduit à changer de place les usines primitives de Milan et Turin qui se trouvaient trop écartées du centre de la gare.

Les batteries sont formées de deux boîtes, de 95 kg, contenant 6 éléments de 130 ampères-heure, que l'on introduit dans les compartiments de coffres en fer munis intérieurement de rouleaux d'acier facilitant la mise en place de la boîte. Les connexions des boîtes entre elles se trouvent établies automatiquement à l'aide de deux contacts verticaux, fixés latéralement sur un bloc de bois vissé sur le fond des coffres et sur lesquelles viennent appuyer deux lames légèrement flexibles montées dans une encoche postérieure de la boîte et reliées aux deux pôles extrêmes de la série d'accumulateurs. Ces deux pôles sont également reliés à 2 blocs fixés sur la face antérieure de la boîte et permettant de vérifier sa tension. Ce mode de connexion donne de bons résultats, mais les pièces de contact doivent être nettoyées fréquemment. Les éléments sont fournis et entretenus à forfait par la maison Heusemberger, de Monza; ceux que j'ai vus avaient des plaques du type Huber à petites pastilles carrées perforées, semblables à celles de Marly, employées au Jura-Simplon; mais le fournisseur parlait de remplacer ces plaques et l'a fait, je crois, par d'autres du type Hagen, constituées par deux cadres à nervures renfermant entre eux de la matière active. Chaque voiture porte 380 ou 760 kg d'accumulateurs, suivant qu'elle effectue un petit ou un grand parcours.

(2) Les batteries sont identiques à celles de la Méditerranée, du type Hagen-Heusemberger. Les voitures de seconde classe de petite longueur portent deux batteries séparées, reliées à deux circuits distincts avec pôle négatif commun. Les voitures de 2e classe de grande longueur portent deux batteries et celles de 1re classe quatre batteries qui sont toutes réunies en parallèle, mais les lampes sont réparties sur deux circuits à fils positifs et négatifs séparés. Le poids des accumulateurs est donc de 380, 570 ou 760 kg, suivant le type de voiture dans lequel l'éclairage total varie de 112 à 192 bougies; le nombre de batteries est calculé de façon à assurer une durée d'éclairage de 22 heures environ. Un compteur Aubert placé sur le circuit général de la voiture indique aux agents combien les accumulateurs ont déjà fourni d'heures d'éclairage et s'ils ont besoin d'être échangés. L'échange et la recharge des accumulateurs s'effectue actuellement en gares de Milan et de Rome, mais d'autres stations sont prévues à Venise, Bologne et Foggia. Toutes les stations de charge sont placées dane les gares, à très peu de distance des quais, de façon à ce que le transport des accumulateurs sur de petits chariots soit très court. Les lampes sont partagées entre les deux circuits de chaque voiture, de sorte qu'on peut en éteindre la moitié, dans le cas de passage des tunnels pendant le jour. Les couloirs et water-closets sont éclairés par des lampes de 8 bougies appliquées au plafond. Les compartiments sont éclairés par des lustres de deux lampes de 8 bougies en 2e classe, et de trois lampes en 1re classe, chacune pourvue d'un interrupteur spécial; il y a, en outre, dans chaque compartiment, une

***

*Chemins de fer badois.* — Les Chemins de fer badois ont appliqué l'éclairage électrique depuis 1895, aux trains express du service Bâle-Mannheim, mais il n'y a que 35 voitures équipées. Ces voitures, du type à compartiments séparés et water-closets, contiennent des lampes de 5 bougies dans les water-closets et 2 lampes de 10 bougies dans chaque compartiment. Les 2 lampes sont disposées sur un réflecteur placé dans la lanterne à huile ; elles sont alimentées par 2 circuits absolument distincts, munis chacun d'un compteur horaire. Chaque circuit est desservi par 1 ou 2 batteries de 8 éléments en parallèle, suivant que l'on prévoit un éclairage inférieur ou supérieur à dix-huit heures (1).

*Autres chemins de fer allemands.* — Les Chemins de fer de l'État prussien ont, de 1892 à 1895, fait des essais d'éclairage par accumulateurs Pulvis de Geluhausen, sur quelques voitures du service Berlin-Francfort, et ont abandonné ces essais. Le gaz est appliqué actuellement sur tout le matériel des chemins de fer de l'État prussien et sur la plupart des autres lignes allemandes. Quelques petites Compagnies privées, telles que celles de Dortmund, de Mecklembourg, possèdent seules un nombre très faible de voitures éclairées par accumulateurs.

Je ne crois pas qu'il y ait en Russie de voitures éclairées par accumulateurs isolés.

Comme on le voit, l'éclairage par accumulateurs rechargés dans une usine fixe, s'il est répandu dans beaucoup de Compagnies, n'est appliqué dans ces Compagnies que sur des voitures de types récents, affectées exclusivement aux trains rapides, et jamais sur les voitures des trains ordinaires omnibus ou directs, sauf au Jura-Simplon. Ceci provient certainement de ce que, en dehors de ce dernier cas qui est tout à fait spécial, j'insiste sur ce point, le système par accumulateurs amovibles conduit à des dépenses d'éclairage très élevées, en raison des frais considérables et de la gêne causée par la manutention du bâti ; en outre, il oblige à avoir une réserve assez importante de batteries lorsque l'on n'a pas le temps (7 ou 8 heures) pour recharger les accumulateurs pendant le stationnement du train ; c'est le procédé électrique le plus coûteux.

β. Installations où la charge est effectuée sur les voitures mêmes. — *Nord français.* — Après quelques essais préliminaires, la Compagnie du Nord a commencé, dans le milieu de 1889, à employer l'éclairage électrique sur les voitures d'un train rapide Paris-Calais, dit Club-Train, puis l'a étendu aux trains-tramways de Saint-Denis, Saint-Ouen et Pantin, aux trains de Ceinture-Nord et à un certain nombre de voitures, généralement de luxe, circulant sur les grandes lignes, le tout formant ensemble une centaine de voitures.

Enfin cet éclairage a été appliqué à toutes les grandes voitures de 1re et 2e classes, à bogies, mises en service depuis quelques années, et qui s'élèvent actuellement au nombre de 165 (2).

---

lampe supplémentaire de 8 bougies contenue dans une ampoule en verre bleu et placée, soit au milieu, soit à côté du lustre ; lorsqu'on veut avoir un éclairage en veilleuse, on éteint les lampes blanches du lustre et on allume la lampe bleue. L'éclairage de secours est fourni par les lampes à huile conservées.

(1) Chaque batterie se compose de deux boîtes de 4 éléments de 130 ampères-heure pesant 64 kg et comportant des connexions automatiques par bandes de contact inférieures, comme celles du Jura-Simplon. Les boîtes sont échangées en gare de Mannheim et transportées sur un fourgon spécial à étagères dans l'usine électrique située à une certaine distance de la gare, mais elles ne sont pas chargées dans le fourgon même, elles sont sorties des boîtes et placées sur des étagères munies de bandes de contact semblables à celles des coffres des voitures.

Les accumulateurs employés au début étaient du type Pulvis, de Gehulhausen, à plaques rainées, remplies de plomb pulvérisé oxydé ou réduit ; je ne sais si ce type a été conservé.

(2) Dans ces dernières voitures, on trouve, dans les couloirs et plates-formes, des lampes montées dans des globes fixés au plafond ; dans les compartiments, généralement au nombre de sept, les lampes sont montées sur

Des usines de charge ont été aménagées dans les gares du Landy (Saint-Denis), de Saint-Ouen, de Calais et de Fives (près Lille), qui toutes possédaient déjà des installations électriques d'éclairage. L'usine la plus importante est celle du Landy ; elle est établie dans un garage où s'effectuent le nettoyage, la visite, les menues réparations et la formation de tous les trains partant de Paris. Le courant arrive de l'usine de Saint-Ouen sous la forme triphasée : la tension est abaissée au Landy, puis il est transformé en courant continu par une commutatrice, qui présente la particularité intéressante de pouvoir fournir une tension variable dans de très grandes limites, de 200 à 600 volts, sans donner lieu à de fortes étin-

---

appliques en forme de col de cygne fixées sous le milieu du filet à bagages et renfermées dans un œuf dont l'extrémité est dépolie ; dans le cabinet de toilette se trouve une applique semblable. Le dépoli, qui est indispensable pour ne pas fatiguer les yeux, absorbe une quantité notable de lumière, aussi a-t-on remplacé récemment par des lampes de 12 bougies les lampes de 6 bougies qui avaient été placées primitivement dans les compartiments ; dans le couloir on a conservé des lampes de 6 bougies. La lumière totale fournie dépasse ainsi 200 bougies dans une voiture, mais on réalise une économie de courant sensible dans les grands trajets de nuit par le fait que les voyageurs peuvent éteindre une ou deux des lampes de compartiments à l'aide d'un petit interrupteur placé à côté de chaque lampe. Les lampes, qui sont de 55 volts, sont choisies de très faible consommation et réformées d'office après 300 heures d'éclairage environ. Les voitures à bogies portent, entre la caisse et le tirant du brancard, des coffres pouvant contenir deux batteries de 30 éléments ; mais on ne prend deux batteries que pour les longs trajets et notamment pour les services internationaux. Dans une petite armoire s'ouvrant sur le couloir-plateforme, du côté du water-closet sont placés deux réducteurs auxquels aboutissent des fils venant du 1er, du 28e, du 29e et du 30e élément de chaque batterie et qui portent une quatrième touche marquée charge. Pendant la plus grande partie de l'éclairage les manettes sont placées sur la touche 28 dans laquelle 28 éléments de chaque batterie sont groupés en quantité sur la canalisation extérieure des lampes, divisée elle-même en deux circuits couplés en parallèle ; si la lumière baisse à la fin de la décharge, les conducteurs mettent en circuit le 29e et le 30e élément ; enfin, en plaçant les manettes sur la touche charge, on relie les deux batteries en série. A côté des réducteurs sont placées, dans l'armoire, deux bornes terminales positives et une borne négative. Chaque batterie se compose de 15 paniers légers, en treillis de fer plombé et verni, contenant chacun deux éléments de 140 ampères-heure, disposés dans des bacs en ébonite fermés par une feuille souple en caoutchouc, réunis entre eux par une connexion en barre ronde de plomb soudée. Les paniers, qui pèsent 47 kg chacun, reposent dans le coffre sur des plaques de verre cannelé, destinées à empêcher les dérivations par suintement de l'acide ; ils sont réunis entre eux par des câbles sous caoutchouc terminés par une languette en une sorte de maillechort peu oxydable qui s'engage sur une pince formant ressort, en métal semblable, fixée à l'extrémité de l'électrode terminale.

Une voiture à bogies renferme 700 à 1400 kg d'accumulateurs suivant qu'elle circule avec une ou deux batteries d'accumulateurs.

Dans les voitures à deux essieux on se sert exactement des mêmes paniers d'accumulateurs, mais la batterie n'est formée que de huit paniers, soit 16 éléments répartis dans quatre petits coffres fixés sous le châssis et représentant un poids total de 376 kg. Un coffret extérieur contient deux bornes et un réducteur semblable à celui des voitures à bogies, mais dont les touches correspondent à 14, 15 et 16 éléments ; la marche normale se fait avec 14 éléments et les lampes, étalonnées à 25 volts seulement, sont très poussées. La Compagnie du Nord, en prévision de l'extension de l'éclairage électrique, a muni de coffres à accumulateurs, au moins 3000 de ses voitures, au fur et à mesure de leur passage dans les ateliers ; plus d'un millier de voitures ont été munies de la même manière de la canalisation électrique. De cette manière la Compagnie du Nord pourra éclairer, lorsqu'elle le désirera, un nombre considérable de voitures sans avoir à faire d'un seul coup la dépense totale de l'équipement. Les quatre ou cinq compartiments séparés ne contiennent qu'une lampe électrique de 8 à 10 bougies montée avec réflecteur en porcelaine, sur un porte-lampe qui peut se placer dans la lanterne ancienne à la place de la lampe à huile. Le porte-lampe est muni à cet effet de deux bandes verticales contre lesquelles viennent appuyer deux tétons à ressort reliés à la canalisation principale extérieure de la voiture, noyés dans la toiture. Comme les tétons font saillie sur la paroi intérieure de la cage de la lanterne, il est nécessaire de glisser convenablement sur cette paroi un trapillon en ébonite qui se trouve en attente sur le porte-lampe électrique, lorsqu'on veut remplacer celui-ci par une lampe à huile, de façon à faire rentrer ces tétons, faute de quoi le corps de lampe à huile formerait un court-circuit et serait fondu.

Toutes les lampes d'une voiture sont allumées ou éteintes à l'aide d'un commutateur fixé sur l'un des panneaux de bout de la voiture et que le chef de train peut manœuvrer des deux côtés du train à l'aide d'une tringle.

Les accumulateurs employés par la Compagnie du Nord pour l'éclairage électrique de ses voitures ont d'abord été du type Laurent Cély à grandes pastilles, dont les positives se désagrégeaient assez vite ; ils ont été remplacés par un autre type de la Société des métaux, dit à augets, dans lequel les plaques positives ont la forme d'une arête de poisson remplie de matière active, qui se conserve mieux et dont les augets peuvent être réempâtés deux fois lorsqu'ils se sont vidés. Les plaques étaient au début serrées par écrous sur une tige de laiton, mais on a dû abandonner ce montage, faute de hauteur, dans les voitures à bogies, et l'on a soudé toutes les plaques sur des ponts en plomb.

celles : ce résultat est obtenu à l'aide d'un enroulement excitateur à 400 volts et d'un second enroulement excitateur auxiliaire de 200 volts, dont l'action peut s'ajouter ou se retrancher à celle du premier [1].

La Compagnie du Nord assure, moyennant une redevance forfaitaire, l'éclairage électrique de 9 grands bureaux-postes, de 14 et 18 m de long, qui circulent sur son réseau, à l'aide de batteries d'accumulateurs du même type que celles des voitures à bogies de la Compagnie. La charge de ces accumulateurs est effectuée en gare de Paris-Nord, sur les wagons même pendant leur garage, mais chaque batterie est branchée isolément sur le circuit d'éclairage de la gare à 110 volts. On emploie également le courant de la gare pour éclairer en même temps les lampes du bureau-poste, pendant les quelques heures de travail qui précèdent le départ, ce qui est un moyen habile d'économiser le courant des accumulateurs.

*Chemins de fer de Sceaux.* — Depuis 1896, toutes les voitures, au nombre de 112, servant à la formation des trains circulant en semaine de Paris à Robinson et de Paris à Limours sont éclairées à l'électricité. On n'a conservé l'éclairage à l'huile que sur le matériel de renfort employé le dimanche. Les lampes de 23 volts consomment 3 watts par bougie. Il y a 2 lampes de 4 bougies dans les 4 compartiments des voitures de 1^re^ classe, 1 lampe de 6 bougies dans les 6 compartiments des voitures de 2^e^ classe, 1 lampe de 4 bougies dans les 7 compartiments des voitures de 3^e^ classe ; on n'a pas cherché à donner un éclairage brillant, mais une lumière modérée [2].

---

[1] Cette disposition permet de charger sans difficulté toutes les batteries, reliées en série, d'un train, quel que soit le nombre de véhicules compris dans ce train. Le courant qui, aboutissant à un coffret de prises de courant, est amené par une série de lignes aériennes sur poteaux en bois, est branché aux extrémités du train à l'aide de deux douilles en laiton, protégées par une poignée en bois et présentant une cavité en forme de croix +, pour le pôle positif, et d'une barre —, pour le pôle négatif. Ces pinces sont introduites dans les bornes de formes correspondantes que l'on trouve près du réducteur, dans l'armoire du couloir sur les voitures à bogies, ou dans un petit coffret extérieur sur les voitures ordinaires. Les batteries des voitures sont réunies entre elles par des câbles volants terminés par des pinces de même forme que l'on fixe pendant la charge sur les bornes des voitures. La charge se fait à peu près à potentiel constant et dure 3 heures environ. Les boites d'accumulateurs sont examinées superficiellement sur les voitures pendant la charge tous les quinze jours environ et les éléments sont retirés des voitures et examinés complètement à l'atelier tous les deux mois environ. La disposition consistant à avoir 2 éléments supplémentaires de réserve n'est pas bonne pour la conservation de ces éléments, qui sont toujours très peu déchargés et beaucoup trop chargés ; aussi change-t-on ces éléments par permutation chaque fois que l'on porte les batteries à l'atelier.

[2] Il n'y a qu'un seul interrupteur principal extérieur, manœuvré par le conducteur, pour toute la voiture. Les lampes munies d'un réflecteur en porcelaine, sont fixées sur un bloc de bois introduit dans les lanternes ordinaires à la place de la lanterne à huile. Les connexions sont établies, entre ce porte-lampe et la canalisation de la voiture, par deux verrous solidaires du bloc de bois et que l'on engage dans des pinces en maillechort noyées dans la toiture. Avec ce dispositif il n'y a pas à craindre de courts-circuits dans le cas d'introduction d'une lampe à huile, mais en général tous ces contacts sur toitures demandent un nettoyage fréquent, et un entretien important, parce qu'ils sont exposés à la poussière et à l'humidité. Chaque voiture est munie d'un compteur horaire.

Les accumulateurs sont pour les deux tiers du type à augets de la Société des Métaux et pour le reste, du type Oméga, analogue au Tudor, de la maison Geoffroy et Delore, de 120 ampères-heure au minimum. Chaque voiture renferme une batterie de 12 éléments divisés en quatre boites de 3 éléments disposées dans quatre coffres fixés sous le châssis. Les extrémités de la batterie aboutissent à deux bornes à vis du type ordinaire fixés sous le châssis aux deux extrémités de la voiture. Les plaques sont réunies entre elles par des tiges à écrous en laiton. Les boites ne portent comme fermeture qu'une feuille souple de caoutchouc. Les pôles de la boite aboutissant à deux bandes de laiton montées sur les faces latérales et qui viennent s'appliquer sur des lames de laiton horizontales flexibles bombées qui sont fixées les parois latérales internes des coffres. Ce dispositif de connexions automatiques ne donne de bons contacts que si les lames flexibles sont confectionnées en laiton très fortement écroui. Les voitures sont réunies pendant la charge par des câbles dont les extrémités sont réunies dans les bornes. Le courant de 200 volts provenant des dynamos d'éclairage à arc de la nouvelle gare de Sceaux est amené sur les trains pendant leur stationnement sur les voies de garage, par des câbles aériens montés sur poteaux aboutissant à des coffrets avec bornes de prises de courant et sert à la charge de 6 batteries réunies en série; la charge dure 4 heures environ.

*Chemin de fer de Ceinture.* — Tout le nouveau matériel construit par la ligne de Ceinture quelque temps avant l'Exposition de 1900 et composé de 156 voitures de 2e classe, 30 voitures de 1re classe et 57 fourgons, soit au total 243 véhicules, a été muni de l'éclairage électrique (1).

La ligne de ceinture comportant, en dehors de nombreux passages sous des ponts, quatre grands tunnels, on était obligé autrefois de laisser les lampes à huiles allumées pendant tous les voyages de jour et même pendant les très courts stationnements, c'est-à-dire pendant une durée quotidienne de 18 heures environ. Depuis que l'éclairage électrique fonctionne, on n'allume plus pendant le jour que pour les passages dans les tunnels. En raison de cette circonstance particulière, l'éclairage électrique procure certainement une économie très notable sur l'éclairage à l'huile ou au gaz.

L'éclairage, sur la ligne de Ceinture, présente une autre particularité. Tandis que, sur toutes les autres lignes, l'indépendance des voitures est considérée comme un grand avantage, on a trouvé que, sur cette ligne, elle constituait un inconvénient. Les 2 agents de train n'avaient pas en effet le temps suffisant, pendant les arrêts aux stations, pour allumer et éteindre isolément toutes les voitures du train par le tirage des tringles de commutateurs, comme ils le faisaient au début; bien entendu il leur était impossible d'allumer sous les ponts un peu longs situés entre 2 stations. On a tourné la difficulté en réalisant l'allumage général du train par les fourgons, tout en conservant l'alimentation indépendante des voitures. On n'a rien changé à l'installation de celles-ci; on a simplement ajouté sur chaque voiture un nouvel interrupteur actionné par un relais, tous les relais du train étant réunis par une conduite générale auxiliaire, et commandés de l'un ou l'autre des fourgons (2).

Ce système, imaginé par M. Guédon, Ingénieur de la Ceinture, est ingénieux, mais il n'est pas à imiter. Du moment qu'on s'astreint à avoir une conduite générale sur tout le

(1) Les compartiments de 2e classe contiennent une lampe, qui était de 6 bougies au début et qui a été portée récemment à 10 bougies, placée dans un porte-lampe identique à celui des voitures du Nord; les voitures de 2e classe et les fourgons portent une batterie de 16 éléments et tous les agencements identiques à ceux du Nord, sauf les accouplements entre les boites qui sont inverses, c'est-à-dire que les câbles volants sont terminés par des pinces qui viennent s'emmancher sur des languettes noyées dans les électrodes. Dans les voitures de 1re classe, on avait d'abord mis deux lampes de 8 bougies alimentées par une petite batterie de 16 éléments, mais on a mis récemment dans les lanternes des lampes de 12 bougies, et l'on a remplacé la batterie de 16 éléments par une autre de 30 éléments. La charge se fait sur les trains mêmes en gare de Courcelles, à l'aide d'une installation à potentiel variable analogue à celle du Landy et utilisant le même courant à haute tension de Saint-Ouen; la charge se fait le plus souvent sous 300 volts et dure 3 heures.

(2) Les voitures ont été munies à cet effet d'un accouplement par câbles souples terminés par une languette protégée par une douille en aluminium, que l'on introduit dans une pince fixée sur le panneau extérieur de bout du véhicule. Sur ce panneau est également fixée une petite boîte en fonte renfermant l'interrupteur à relais; cet appareil se compose d'un solénoïde dont le noyau porte une tige articulée. L'appareil étant au repos, si l'on envoie un courant dans le solénoïde, la tête du noyau se soulève et s'engage sur la droite dans un aiguillage en lames de laiton et vient tomber sur un bloc intermédiaire qui ferme le circuit d'éclairage de la voiture et le maintient allumé d'une manière permanente. A la seconde émission de courant, la tête du noyau est soulevée, puis s'engage par la gauche dans un aiguillage qui la fait retomber à la position de repos. Les émissions de courant sont provoquées par un commutateur à lames placé dans un coffret du fourgon et que l'agent de train manœuvre en tirant un bouton extérieur; mais il doit en même temps dégager, à l'aide d'une clef spéciale, un taquet qui verrouille le commutateur (afin d'éviter les manœuvres intempestives que pourraient causer les voyageurs); un ressort rappelle de lui-même le commutateur à la position de repos. Chaque fourgon renferme, en dehors du commutateur, un interrupteur à relais semblable à celui des voitures, mais qui porte en outre un voyant « éteint ou allumé » permettant à l'agent de train de se rendre compte de l'opération qu'il produit sur tout le train, allumage ou extinction. Les ratés ne se produisent que s'il manœuvre trop vite la tige de l'interrupteur de commande, parce qu'alors l'émission de courant n'est pas assez longue pour que la tige du relais ait le temps de franchir complètement l'aiguillage.

train, il serait plus rationnel, dans le cas d'une installation nouvelle semblable, de n'avoir qu'une grosse batterie dans un fourgon.

*Compagnie d'Orléans.* — En dehors des trains de la ligne de Sceaux, la Compagnie d'Orléans a entrepris, en 1898, l'éclairage de quelques trains express, composés de grandes voitures à couloir, formant un total de 30 véhicules. Les accumulateurs sont les mêmes que ceux de la ligne de Sceaux, mais les batteries sont de 37 ou 38 éléments, suivant le type de voitures. Les accumulateurs sont rechargés en série, sur les voitures mêmes, en gare de Paris, place Walhubert, avec du courant d'arcs.

*Compagnie du Midi français.* — Depuis 1898, la Compagnie du Midi a appliqué l'éclairage électrique à 20 voitures, munies d'accumulateurs Faure-Sellon-Vollckmar, fournis par la maison Tricoche, qui sont rechargés sur les voitures mêmes en gare de Bordeaux-Saint-Jean.

*Autres Compagnies.* — Le rapport de M. Bandovits, au Congrès des Chemins de fer de 1900, cite les Chemins de fer de l'État Roumain comme employant, sur 88 voitures, l'éclairage par accumulateurs à charge rapide, mais n'indique pas si ces accumulateurs sont rechargés sur les trains mêmes ou sortis des voitures.

L'éclairage par accumulateurs rechargés sur les trains mêmes est certainement plus commode et moins coûteux que le système par batteries amovibles, parce qu'on évite les frais de manutention des boîtes et qu'on n'a besoin que d'une faible réserve de batteries. En outre, la durée de charge est moins longue, parce qu'on opère à peu près à potentiel constant, et qu'on ne demande pas aux batteries la totalité de leur capacité, avant de les recharger. Néanmoins cette immobilisation des trains sur des points déterminés pendant quatre ou cinq heures est souvent admise avec difficulté par les services des gares. En outre, les frais de visite et d'entretien des accumulateurs restent les mêmes que dans les systèmes de la classe $\alpha$, ils sont plutôt même un peu plus élevés, parce que les batteries sont examinées moins souvent.

Ces frais sont très importants et beaucoup plus élevés que dans les batteries des usines fixes. Les plaques soumises aux trépidations continuelles se désagrègent bien plus vite ; les boîtes et leurs connexions se détériorent sous l'influence des vapeurs acides et demandent des réparations fréquentes. Quelle que soit la méthode de charge employée, l'éclairage des voitures par batteries isolées est toujours coûteux, en raison de la grande quantité d'accumulateurs qu'elle exige, et la durée de charge constitue une sujétion gênante.

(*A suivre.*)

Ch. Jacquin

---

## THÉORIE MATHÉMATIQUE
# DU REVÊTEMENT DES CABLES SOUS-MARINS

*L'Éclairage Électrique* a publié récemment (t. XXX, p. 342, 8 mars 1902) une théorie approchée du revêtement des câbles sous-marins.

L'auteur de cette théorie a admis que la section plane des fils de fer après enroulement sur un cylindre pouvait être assimilée à une ellipse.

Il est possible, cependant, de traiter la même question par une méthode mathématique rigoureuse. C'est cette méthode qui est exposée ci-dessous.

I. Établissement d'une formule exacte. — Le problème qu'on se propose de résoudre est le suivant :

Considérons un fil de fer enroulé en hélice sur un cylindre de révolution. Soient :

$p$ le pas de l'hélice H suivant laquelle s'enroule l'axe du fil de fer ;

R le rayon du cylindre sur lequel se trouve cette hélice. (On peut appeler ce cylindre le cylindre moyen) ;

$r$ le rayon du fil de fer.

La surface extérieure du fil, après enroulement, peut être assimilée, avec une grande exactitude, à une surface canal, c'est-à-dire à l'enveloppe d'une sphère de rayon $r$ dont le centre décrit l'hélice H.

Supposons que l'on coupe le cylindre moyen par un plan perpendiculaire à son axe. La section droite du cylindre sera un cercle de rayon R, et la section de la surface canal une courbe C dont on va déterminer l'équation.

Pour cela, nous prendrons trois axes de coordonnées rectangulaires, savoir :

1° Dans le plan perpendiculaire à l'axe du cylindre moyen deux droites rectangulaires O$x$, O$y$, telles que O$x$ passe par le point d'intersection A de ce plan avec l'hélice H ;

2° L'axe du cylindre pour axe des $z$.

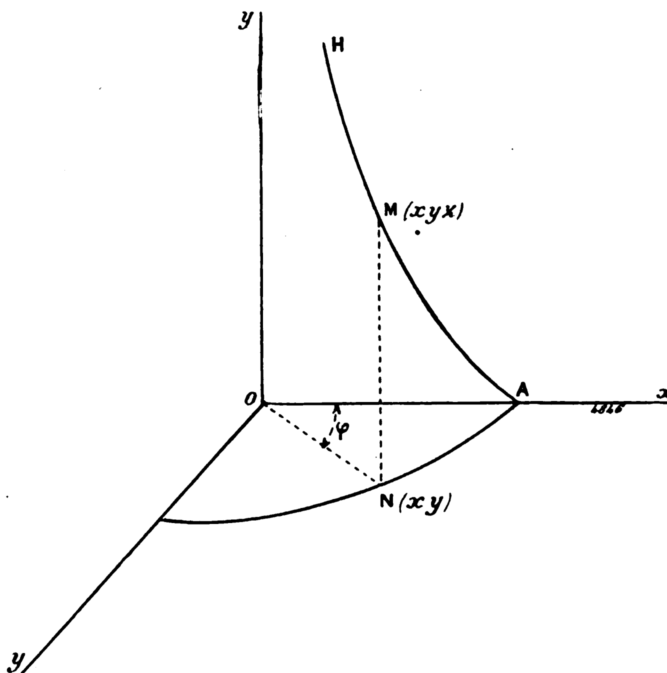


Fig. 1

Soit M $(x, y, z)$ un point quelconque de l'hélice H (fig. 1). L'équation de la sphère S ayant pour centre le point M et pour rayon $r$ sera :

$$(X - x)^2 + (Y - y)^2 + (Z - z)^2 = r^2$$

D'autre part, la courbe C sera l'enveloppe des sections de la sphère S par le plan $Z = 0$, c'est-à-dire l'enveloppe des cercles représentés par l'équation

$$(X - x)^2 + (Y - y)^2 = r^2 - z^2 \tag{1}$$

On a d'ailleurs les relations évidentes

(2) (3) $$x^2 + y^2 = R^2 \qquad z = \frac{m \text{ arc AN}}{R} = m.\varphi$$

$m$ étant une constante, que nous allons déterminer en fonction du pas.

D'autre part, pour $z = p$ on a $\varphi = 2\pi$. Donc :

$$m = \frac{p}{2\pi} \tag{4}$$

La détermination de l'équation de la courbe C est plus simple si l'on fait usage des coordonnées polaires.

Appelons donc $\rho$ la distance d'un point quelconque T du cercle au point O, et $\omega$ l'angle des droites OT et O$x$ (fig. 2).

On aura :

$$\begin{cases} x = R\cos\varphi \\ X = \rho\cos\omega \end{cases} \qquad \begin{cases} y = R\sin\varphi \\ Y = \rho\sin\omega \end{cases}$$

L'équation du cercle deviendra :

$$\rho^2 - 2R\rho\cos(\omega - \varphi) = r^2 - z^2 - R^2$$

ou bien en tenant compte de l'équation (3).

$$(5) \qquad \rho^2 - 2R\rho\cos(\omega - \varphi) = r^2 - m^2\varphi^2 - R^2$$

L'équation de l'enveloppe des cercles représentés par l'équation (5) s'obtiendra en éliminant $\varphi$ entre l'équation (5) et l'équation

$$(6) \qquad -R\rho\sin(\omega - \varphi) = -m^2\varphi \qquad \text{ou} \qquad 2R\rho\sin(\omega - \varphi) = 2m^2\varphi$$

L'équation (5) peut s'écrire

$$(7) \qquad 2R\rho\cos(\omega - \varphi) = \rho^2 - r^2 + m^2\varphi^2 + R^2$$

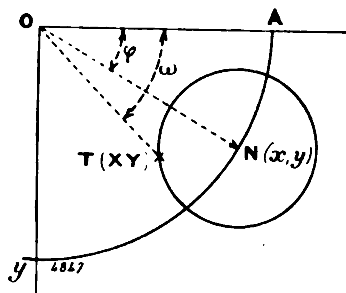



Fig. 2

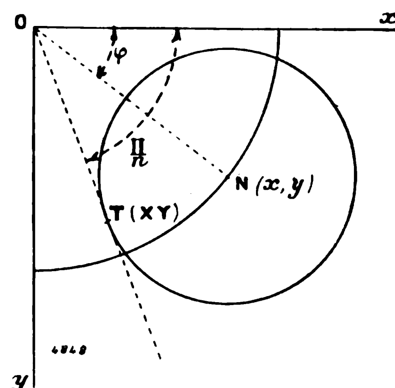



Fig. 3

En ajoutant les équations (6) et (7) après avoir élevé les 2 membres au carré, on trouve

$$4R^2\rho^2 = 4m^4\varphi^2 + (\rho^2 - r^2 + m^2\varphi^2 + R^2)^2$$

équation du 2$^e$ degré en $\varphi^2$, qui peut s'écrire :

$$(8) \qquad m^4\varphi^4 + 2m^2[2m^2 + R^2 - r^2 + \rho^2]\varphi^2 + (R^2 - r^2 + \rho^2)^2 - 4R^2r^2 = 0$$

En portant les valeurs de $\varphi^2$ et de $\varphi$, tirées de l'équation (8), dans l'une des équations (5) ou (6), on aura l'équation de la courbe C, qui est une courbe transcendante.

II. Application des formules au cas d'un cable sous-marin revêtu d'une armature en fils de fer. — Si l'on enroule en hélice sur un cylindre $n$ fils de fer jointifs de même diamètre et que l'on coupe le câble ainsi obtenu par un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre d'enroulement, on obtiendra $n$ courbes C, identiques et tangentes entre elles.

Proposons-nous de chercher la relation qui existe entre les quantités R, $r$, $m$ et $n$.

L'angle des deux tangentes menées de l'origine à l'une des courbes C sera $\frac{2\pi}{n}$, et l'angle polaire du point de contact de l'une de ces tangentes avec O$x$ sera $\frac{\pi}{n}$ (fig. 3).

Pour écrire l'équation de la tangente à la courbe C au point T (X, Y), nous remarquerons que cette droite est également tangente, au point T (X, Y), au cercle

$$(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 = r^2 - z^2 - R^2$$

Son équation sera donc :

$$(\xi - x)(X - x) + (\eta - y)(Y - y) = o$$

Exprimons que cette droite passe par l'origine.

On aura la relation

$$X(X - x) + Y(Y - y) = o$$

et en coordonnées polaires

(9) (10) $$\rho^2 - R\rho\cos(\omega - \varphi) = o \qquad \text{ou} \qquad \rho = R\cos(\omega - \varphi)$$

Exprimons maintenant que l'angle $\omega$ est égal à $\frac{\pi}{n}$.

Nous pouvons d'abord simplifier l'équation (5)

$$\rho^2 - 2R\rho\cos(\omega - \varphi) = r^2 - m^2\varphi^2 - R^2$$

qui exprime que le point T (X, Y) est sur le cercle tangent en T à la courbe C. En combinant cette équation avec l'équation (9) on obtient la relation plus simple

(10) $$R\rho\cos(\omega - \varphi) = m^2\varphi^2 + R^2 - r^2$$

On aura donc la relation cherchée entre R, $r$, $m$ et $n$ en écrivant que $\omega = \frac{\pi}{n}$, et en éliminant $\rho$ et $\varphi$ entre les 3 équations

(11) $$\rho R\sin\left(\frac{\pi}{n} - \varphi\right) = m^2\varphi$$

(12) $$\rho R\cos\left(\frac{\pi}{n} - \varphi\right) = \rho^2$$

(13) $$\rho R\cos\left(\frac{\pi}{n} - \varphi\right) = m^2\varphi^2 + R^2 - r^2$$

On a d'abord les relations

$$\rho^2 = m^2\varphi^2 + R^2 - r^2$$
$$\rho^2 R^2 = \rho^4 + m^4\varphi^2$$
$$\rho^2 R^2 = (m^2\varphi^2 + R^2 - r^2)^2 + m^4\varphi^2$$

d'où

$$m^2\varphi^2 = \frac{\rho^2(R^2 - \rho^2)}{m^2}$$

$$\rho^2 = \frac{\rho^2(R^2 - \rho^2)}{m^2} + R^2 - r^2$$

(14) $$\rho^4 + \rho^2(m^2 - R^2) - m^2(R^2 - r^2) = o$$

$$R^2(m^2\varphi^2 + R^2 - r^2) = (m^2\varphi^2 + R^2 - r^2)^2 + m^4\varphi^2$$
$$(m^2\varphi^2 + R^2 - r^2)\, m^2\varphi^2 - r^2) + m^4\varphi^2 = o$$

(15) $$m^4\varphi^4 + m^2[R^2 - 2r^2 + m^2]\varphi^2 - r^2(R^2 - r^2) = o$$

De ces deux équations (14) et (15), bicarrées, on peut toujours tirer $\rho$ et $\varphi$ en fonction

de R, $r$ et $m$. On voit que dans l'hypothèse $r < R$, elles ont chacune une racine réelle et positive qui convient seule au problème [1].

Ces équations permettent de résoudre facilement tous les problèmes concernant la fabrication des câbles sous-marins. Elles peuvent servir au calcul direct de $n$, connaissant R, $r$ et $m$. Elles peuvent servir également au calcul de R, $r$ ou $m$, en fonction des trois autres quantités supposées connues, en faisant usage de la méthode d'approximations successives. On peut enfin en déduire une formule approchée applicable dans le cas des câbles sous-marins.

Fig. 4.

*Remarques.* — 1° La méthode de calcul exposée ci-dessus peut être considérée comme rigoureusement exacte, si l'on admet que les fils se déforment très peu pendant l'enroulement (autrement dit qu'ils restent ronds). Cette hypothèse est très légitime. Ainsi, pour un fil de 7 mm de diamètre, après enroulement, sur un cylindre de 20 mm de diamètre, les différences entre les diamètres mesurés au même point, sont d'environ 0,005 mm.

2° La courbe C, définie plus haut, possède deux foyers, c'est-à-dire qu'elle est bitangente à deux cercles de rayon nul. Elle possède également un axe de symétrie, l'axe des $x$.

III. ÉTUDE GRAPHIQUE DE LA COURBE C ; CONSTRUCTION PAR POINTS ET TANGENTES. — Nous avons démontré plus haut que l'équation, en coordonnées polaires, de la courbe C, résultait de l'élimination de la variable $\varphi$ entre les deux équations

$$\rho^2 - 2R\rho\cos(\omega - \varphi) = r^2 - m^2\varphi^2 - R^2 \qquad (5)$$

$$R\rho\sin(\omega - \varphi) = m^2\varphi \qquad (6)$$

La première équation représente un cercle de rayon $\sqrt{r^2 - m^2\varphi^2}$, ayant son centre au point dont les coordonnées polaires sont R et $\varphi$, la seconde représente une droite, axe radical limite du cercle (5) et du cercle infiniment voisin obtenu en donnant à $\varphi$ un accroissement $d\varphi$.

On suppose, bien entendu, que l'on considère $\varphi$, dans ces deux équations, comme une constante.

La droite (6) est évidemment parallèle au rayon ON.

D'autre part, si l'on désigne par P (fig. 4) le pied de la perpendiculaire abaissée du point O sur cet axe radical limite, on aura :

$$OP = \frac{m^2\varphi}{R}$$

De cette relation, on déduit facilement la construction, par points et tangentes, de la courbe C. Il suffit, en effet, de se donner un point quelconque du cercle $\rho = R$, soit N.

(1) On discutera facilement la racine positive de l'équation (14). Dans les calculs numériques, on se servira de la relation $\rho^2 = m^2\varphi^2 + R^2 - r^2$ pour avoir $\varphi$ connaissant $\rho$.

Le cercle de centre N, bitangent à la courbe C, aura pour rayon $\sqrt{r^2 - m^2\varphi^2}$.

Les points de contact de ce cercle et de la courbe C seront situés : 1° Sur le cercle bitangent ; 2° Sur une droite menée parallèlement à ON, à une distance $OP = \frac{m^2}{R} \cdot \varphi$. Cette droite coupera le cercle en deux points qui sont précisément les points de contact cherchés.

Soit T l'un de ces points. La tangente en T à la courbe C sera la tangente au cercle bitangent, c'est-à-dire la perpendiculaire au rayon NT.

Chaque valeur de $\varphi$ fournira de même deux points de la courbe C et les deux tangentes en ces points.

On voit donc que la construction graphique d'une courbe C correspondant à des valeurs R, $r$ et $p$, données à l'avance, ne présente aucune difficulté [1].

*Remarque.* — Pour chaque valeur de $\varphi$, on obtient un point P, pied de la perpendiculaire abaissée du point O sur l'axe radical limite.

D'autre part, on a évidemment :

$$\text{angle } POy = \varphi$$

et comme on a

$$OP = \frac{m^2}{R} \cdot \varphi$$

on voit que le lieu des points P est une spirale d'Archimède, tangente en O à l'axe O$y$. Cette spirale est indépendante du rayon $r$.

IV. Épure d'un cable. — La construction graphique indiquée plus haut peut servir à faire l'épure d'un câble, c'est-à-dire à résoudre par le dessin le problème suivant :

Déterminer le nombre de fils de fer de rayon $r$ nécessaires pour recouvrir un cylindre de rayon $R - r$, en supposant les fils jointifs et enroulés suivant des hélices de pas $p = 2\pi m$.

Pour cela, on choisira une échelle arbitraire et on tracera un cercle de rayon R.

Puis, on construira par points et tangentes une courbe C et on mènera, par le centre du cercle, les deux tangentes à cette courbe, jusqu'à leurs points de rencontre avec la circonférence de rayon R. Le quotient de la longueur de cette circonférence par l'arc compris entre les deux points de rencontre sera le nombre de fils cherché. La division de la circonférence par l'arc pourra s'effectuer graphiquement.

Il convient toutefois d'ajouter que la méthode purement graphique n'est pas susceptible de donner des résultats très précis dans le cas des câbles sous-marins.

Cela résulte de la faible valeur de l'angle des tangentes aux hélices H avec les génératrices du cylindre moyen et de la mauvaise détermination graphique du point de rencontre de droites faisant un petit angle.

(*A suivre.*)

Jean Rochas,
Ancien élève de l'Ecole Polytechnique.
Ingénieur des Télégraphes.

[1] Il resterait à trouver la construction géométrique des tangentes menées de l'origine.

# SUR LES ALTERNATEURS A COLLECTEUR

A propos de l'article de M. Osnos [1] sur « le Moteur d'induction asynchrone sans déphasage » publié dans le numéro du 24 mai (t. XXXI. p. 279). M. Marius Latour, nous écrit :

1. M. Osnos, cherche à démontrer que mon alternateur shunt dans son fonctionnement en moteur coïncide avec le moteur avec montage en parallèle de M. Görges.

Je répète que le moteur projeté par M. Görges devait être, d'après M. Görges, construit pour tourner indistinctement dans les deux sens à une vitesse essentiellement indépendante de la fréquence des courants qui l'alimentaient, tandis que mon moteur ne pourrait être délogé des environs immédiats du synchronisme.

Etant donné un réseau d'utilisation à 110 volts, il est bien certain qu'il n'y aura jamais plus de 110 volts entre balais dans un moteur Görges de quelque façon qu'il soit dimensionné et qu'on n'aurait *a priori* aucune raison de faire la dépense d'un transformateur. Mais personnellement je suis conduit, par suite de l'emploi de fil fin d'inducteur, à avoir beaucoup de spires par section et il peut être alors avantageux, *en vue d'éviter une influence trop importante des champs harmoniques sur la commutation*, d'abaisser la tension d'excitation du rotor. L'abaissement de la tension de 110 à 5 ou 6 volts constitue en réalité un véritable perfectionnement.

2. La formule que j'ai donnée pour la vitesse de fonctionnement à $\cos \varphi = 1$ du moteur Görges *série* :

$$\omega_1 = \frac{1 + 2a \cos \theta + a^2}{1 + a \cos \theta}$$

est *rigoureuse*.

Il est inutile que de changer quelque signe.

Si M. Görges avait vraiment observé le fonctionnement à $\cos \varphi = 1$ avec $\theta = 60 - 66°$, $a = 0{,}44$ il en résulterait simplement que M. Görges aurait constaté ce fonctionnement au-dessus du synchronisme pour $\omega_1 = 1.3 \ldots \omega$.

Mais pour constater le fonctionnement à $\cos \varphi = 1$ aux environs du synchronisme et dans le sens des champs, $(\omega_1 = \omega)$, M. Görges pouvait, dans ce même moteur, caler les balais de telle façon que $\theta = \pi - 60° = 120°$.

Il ne peut s'agir, dans l'expérience de M. Görges, que d'un synchronisme approximatif.

3. En 1890, M. Görges était à la recherche d'un moteur à collecteur permettant de s'affranchir de la sujétion d'une marche voisine du synchronisme. M. Görges conçut et fit breveter des moteurs constitués par un stator ordinaire et un induit de dynamo. Le stator pouvait être monté en parallèle ou en série avec l'induit de dynamo. C'est même le montage en parallèle *avec partie mobile analogue à la partie fixe*, qui semble être venu *essentiellement* à l'esprit de M. Görges [2].

M. Görges constata ensuite expérimentalement, sur un moteur avec montage en série, un fonctionnement à $\cos \varphi = 1$.

Quant au montage en parallèle tel que je le réalise aujourd'hui, il n'avait encore été *ni scientifiquement conçu*, *ni matériellement exécuté*. Bien des inventeurs ont cependant cherché depuis 1891 à supprimer le décalage par bien des moyens.

---

[1] Nous recevons de M. Osnos, la lettre suivante :

Je viens de parcourir, dans le n° 21 du 24 courant de *L'Éclairage Électrique*, mon article intitulé « Le moteur d'induction asynchrone sans déphasage », et y relève après coup quelques inexactitudes que je m'empresse de vous signaler :

*Page* 279. — 18e ligne en remontant. Il est dit : « Mais l'emploi d'un enroulement *simple* sur le rotor... » ; au lieu de *simple*, c'est *mince* que l'on a voulu dire.

*Page* 282. — Le dernier mot de la remarque est *d'induction*. C'est *de conduction* qu'il faut lire.

*Page* 284. — 12e ligne en descendant : « Gorges a inventé en 1891 un moteur d'induction pratiquement utilisable sans décalage de phase ? ». Le point d'interrogation change tout à fait le sens de la phrase. M. Osnos.

[2] Voir Patente allemande 61 951.

En réalité, je veux bien croire qu'en 1891 le besoin d'un moteur à $\cos\varphi = 1$ ne se faisait pas encore sentir. M. Görges n'aura pas voulu songer, renonçant à un moteur série qui devait être normalement réservé aux distributions à intensité constante, à exploiter le résultat de ses expériences et de ses judicieuses observations en signalant explicitement une conception autre du montage en parallèle de son moteur. Ce soin m'a donc été réservé. Mais, en réalité, des publications récentes ont fait quelque chose pour éclairer l'esprit de bien des personnes qui parlent aujourd'hui de la question.

M. Heyland fait le même moteur que moi. M. Heyland conserve uniquement pour la marche en charge le même calage des balais que pour la marche à vide. Il n'y a donc pas de moteur Heyland. Il y a simplement un dispositif préconisé par M. Heyland pour éviter les étincelles au commutateur d'un moteur shunt.

J'estime que ces discussions sur les alternateurs à collecteur sont devenues sans intérêt, tout ayant été dit qui pouvait se dire. Des discussions de brevets n'ont pas à se poursuivre dans des revues.

Marius LATOUR.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## TRACTION

***Controllers simplifiés pour courants triphasés***, par **Eugène Klein**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 64, 23 janvier 1902.

Un controller destiné à la mise en route et au réglage de la vitesse d'un moteur à rotor triphasé, comporte en général (fig. 1), pour $n$ échelons de réglage, $3n$ bagues de contact, $3n$ balais et $3(n+1)$ connexions allant au moteur ou aux résistances.

On peut simplifier le montage en employant des rotors diphasés, au lieu de rotors triphasés, mais eu égard aux propriétés des moteurs, ce procédé n'est pas recommandable.

L'auteur a imaginé un mode de montage qui permet d'avoir une simplification aussi importante que par l'emploi du diphasé, tout en conservant les rotors triphasés.

Les résistances ne sont plus montées séparément, mais groupées trois par trois en étoile ou en triangle (fig. 2 et 3) : des trois bagues du rotor, une est reliée directement aux résistances, les deux autres, par l'intermédiaire des bagues de contact du controller : la symétrie des phases est absolument conservée, comme le montrent clairement les figures et les résistances sont introduites successivement, en parallèle (non plus en série, comme dans la figure 1).

De cette façon, il n'y a aucune augmentation de dépense sur la matière des résistances, mais il y a de plus économie sur les connexions qui, ne transportant chacune qu'une partie du courant, peuvent être de sections beaucoup plus faibles que dans le premier cas. Le nombre des bagues et balais de contact et des connexions, est réduit à $2(n+1)$, pour $n$ échelons de réglage : le controller ne comporte plus que deux séries de contacts au lieu de trois.

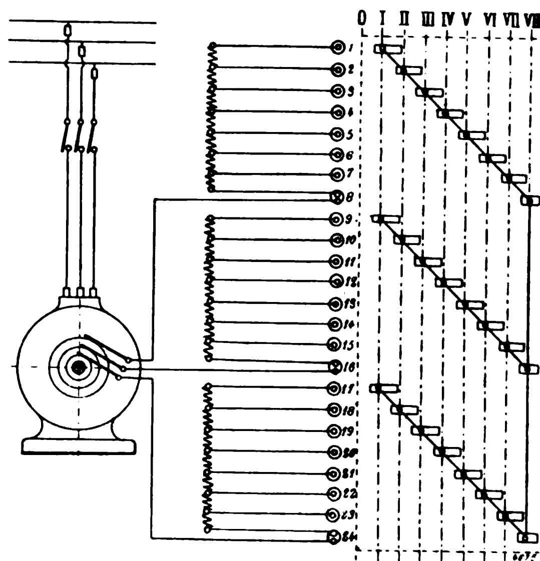


Fig. 1.

L'économie ainsi réalisée sur les connexions est notable, étant donné que souvent, en particulier dans les appareils de levage et dans les tramways, on est obligé de placer les résistances assez loin du controller, et que les courants, dans le rotor sont assez considérables, à cause de la basse tension sous laquelle on le fait fonctionner pour économiser sur son isolement.

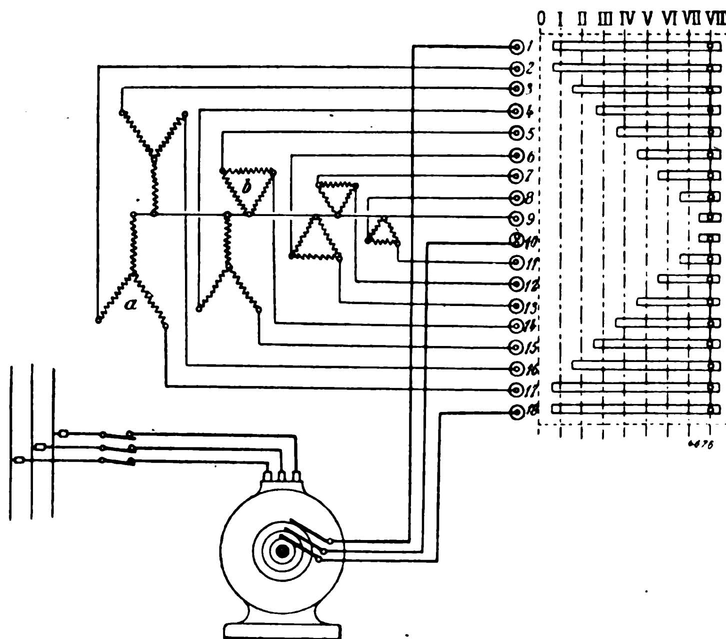



Fig. 2.

La figure 3 représente un controller de ce type, comportant en plus un dispositif pour la marche en avant ou en arrière, par interversion de deux phases : le circuit du rotor n'est jamais coupé, et la position 1 correspond à la fermeture du courant sur le stator, la résistance étant maximum sur le rotor : ce controller commande un moteur de grue.

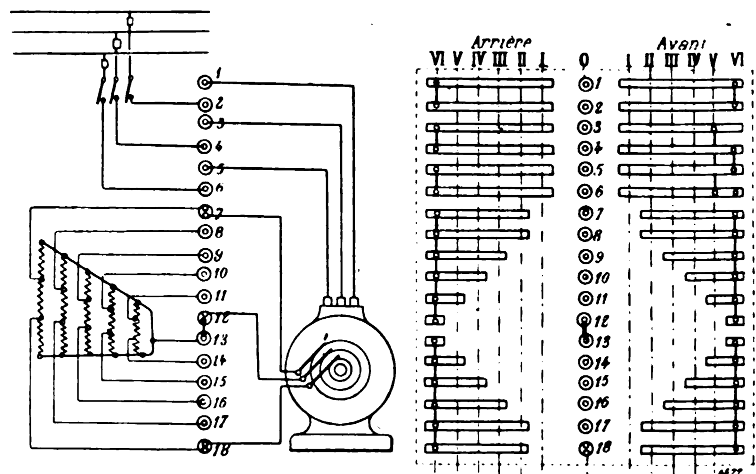



Fig. 3.

La figure 4 représente le schéma des controllers du tramway (non encore exploité, par suite de difficultés financières), de Murnau-Oberammergau : ils sont établis pour trois moteurs triphasés de 120 chevaux chacun, sous 3 × 750 V

Les 3 premiers échelons servent à la mise en route successive des trois moteurs, les 6 derniers au réglage de la vitesse : les 4 positions de marche en arrière correspondent à la marche en arrière à faible vitesse, seulement pour le remisage et au freinage à contre-courant, en cas de nécessité absolue : car les voitures sont symétriques, et comportent, d'une part, deux controllers, un à chaque extrémité, établis chacun pour la marche dans un sens, et d'autre part, un frein à air qui sert à l'usage courant.

Grâce à la simplification de l'auteur, le controller se compose de deux tambours seulement, commandés par engrenage, au moyen d'une seule manivelle : le nombre des connexions partant du controller est seulement de 41.

Pour l'intercalation et la déconnexion des trois stators, sous chacun 80 ampères et 750 volts, l'auteur a installé un souffleur magnétique, représenté par la figure 5: un noyau de fer massif *c* porte une bobine parcourue au moment de la rupture, grâce au contact *d*, par le courant à couper: l'arc, déjà allongé tangentiellement par le mouvement du tambour, est soufflé vers le haut ou vers le bas, par le champ radial du souffleur.

Le même souffleur sert pour la marche en

avant et en arrière, mais il en faut un pour chaque phase, le courant pour un souffleur magnétique à courants alternatifs, devant avoir même fréquence et sensiblement même phase que l'arc à couper; la bobine *e* n'étant parcourue par le courant qu'au moment de la coupure, ne peut pas s'échauffer sensiblement, de même que le noyau massif. Le rotor fonctionnant sous 250 volts seulement, n'est pas muni de souffleur.

Eig. 4.

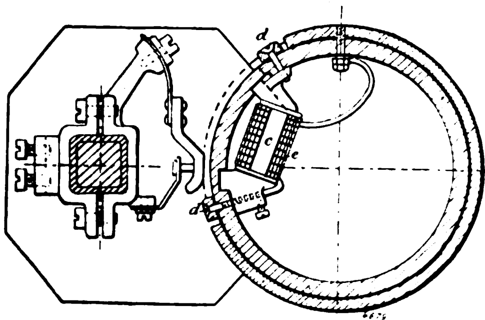



Fig. 5.

L'auteur indique, en terminant, que ce mode de montage et ces dispositifs, adoptés par la Société A. G. Electricitäts Werke, autrefois O. L. Kummer et C[ie], pour la construction des démarreurs des gros moteurs et des appareils de levage, fonctionnent parfaitement, et n'étant pas garantis par des brevets, sont à recommander aux constructeurs.

A. M.

## ÉLECTROCHIMIE

***La fabrication électrolytique de l'antimoine***, par **J. Izart**. *L'Electricien*, t. XXIII, p. 306-309, 17 mai 1902.

Tous les procédés appliqués jusqu'ici [1] ont pour base les principes suivants : dissolution de la stibine (minerai d'antimoine) dans un sulfure alcalin et électrolyse de la liqueur : C'est d'ailleurs le principe de la méthode d'analyse électrolytique servant au dosage de l'étain.

Une difficulté commune à tous ces procédés est la formation de polysulfures alcalins qui, en se diffusant dans le bain, redissolvent l'antimoine déposé à la cathode [2].

Pour tourner cette difficulté, l'auteur a imaginé en collaboration avec M. Léon Thomas, un procédé différent, actuellement appliqué industriellement à l'usine de Cassagnas et dont voici le principe.

La stibine est traitée par le sulfure de sodium qui la dissout à l'état de sulfoantimonite à la façon ordinaire. L'électrolyseur usité est à diaphragme; dans le compartiment cathodique on place la liqueur antimonique, et dans le compartiment anodique une solution de soude caustique; enfin le tout est rendu meilleur conducteur par addition de quelques centièmes de sel ammoniac.

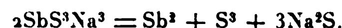
Les réactions ramenées à leur plus simple expression peuvent s'expliquer ainsi.

1. — Dissolution de la stibine à l'état de sulfoantimonite normal :



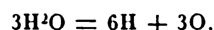
$$Sb^2S^3 + 3Na^2S = 2SbS^3Na^3.$$

2. — Dans le compartiment cathodique, électrolyse mettant en liberté $Sb^2$ qui se dépose, et $S^3$ qui traverse le diaphragme; le sulfure de sodium est régénéré, permettant une nouvelle dissolution :



$$2SbS^3Na^3 = Sb^2 + S^3 + 3Na^2S.$$

3. — Dans le compartiment anodique, électrolyse de 3 molécules d'eau :



$$3H^2O = 6H + 3O.$$

Les ions du soufre en présence de soude et d'hydrogène naissant donnent d'abord du monosulfure :

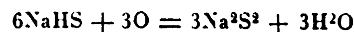


$$6NaOH + 3S + 6H = 3Na^2S + 6H^2O.$$

Puis des polysulfures, à la façon ordinaire.

Suivant la richesse en soude, il peut y avoir également formation de sulfhydrate, lequel donne de suite un polysulfure au contact de l'oxygène :





$$6NaOH + 6S + 12\,H = 6NaHS + 6H^2O$$
$$6NaHS + 3O = 3Na^2S^2 + 3H^2O$$

---

(1) D'après l'auteur une usine appliquant un procédé de Siemens et Halske est en exploitation à Vienne; une usine d'essai a été installée à Banya (Hongrie); à Nakety, en Nouvelle-Calédonie, où le minerai est abondant, se trouve une autre usine.

(2) « En effet, dit M. Izart, de quelque façon que l'on envisage les réactions mises en jeu par l'électrolyse, il arrive que la molécule de stibine $Sb^2S^3$ se trouve scindée : $Sb^2$ se porte à la cathode, tandis que le soufre se porte à l'anode; mais ce dernier, au lieu de se déposer, entre en combinaison avec l'excès de sulfure alcalin pour donner des polysulfures de plus en plus concentrés. La densité plus grande du nouveau composé le porte à se diffuser dans toute la liqueur, ce qu'il est, du reste, facile de constater par la teinte toujours plus brune du bain, et il arrive un moment où, ayant atteint la cathode, il y redissout l'antimoine déposé. L'équilibre ne peut alors être rompu, et le métal précipité à nouveau, que par une augmentation de la différence de potentiel appliquée aux bornes; d'autre part, le degré de sulfuration étant fonction de la masse de métal mise en liberté, l'on comprend facilement qu'à partir d'un certain point le voltage s'élève d'une façon continue, rendant impossible, ou tout au moins trop onéreuse, une opération industrielle. »

Siemens et Halske tournent la difficulté en partant du sulfure le plus éloigné, le sulfhydrate NaHS. L'on passe ainsi par le monosulfure avant d'atteindre les polysulfures, mais l'inconvénient n'est que retardé.

» D'après Engelhardt, cependant, le sulfure acide agirait sur la stibine comme un véritable acide, mettant en liberté de l'hydrogène sulfuré, c'est-à-dire supprimant par cela même les trois atomes de soufre qui viennent polysulfurer le bain en temps ordinaire :





$$Sb^2S^3 + 6NaHS = Sb^2S^3.3Na^2S + 3H^2S$$
$$Sb^2S^3.3Na^2S + 6H = Sb^2 + 6NaHS$$

« L'électrolyse n'interviendrait alors que pour décomposer l'eau et transporter les ions d'hydrogène nécessaires à la précipitation de l'antimoine sur la cathode.

« Le docteur Wilhem Borchers, ex-directeur de la *Zeitschrift für Elektrochemie*, emploie le monosulfure de sodium. D'après lui, les réactions provoquées seraient les suivantes :

1. — Electrolyse de l'eau : $3H^2O = 6H + 3O$.
2. — A la cathode : $Sb^2S^3 + 3Na^2S + 6H = Sb^2 + 6\,NaHS$.
3. — A l'anode : $6NaHS + 3O = 3H^2O + 3Na^2S^2$.
et l'on arrive à la polysulfuration indiquée. »

De toutes façons le soufre est absorbé et l'on peut, grâce au diaphragme, mener loin la sulfuration; cependant, en pratique, l'on aura avantage à s'arrêter au monosulfure $Na^2S$ puisque le sous-produit ainsi obtenu est une matière première.

## MESURES

***Procédé de la corde vibrante pour la détermination de la fréquence d'un courant sinusoïdal***, par **Josef Lœwy**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, p. 597, 8 décembre 1901.

Ce procédé rentre dans la catégorie des procédés acoustiques, dont on a fait déjà de nombreuses applications. En particulier, Kempf et Hartmann [1] utilisent une série d'anches en acier fixées par une de leurs extrémités et dont les périodes sont échelonnées par intervalles d'une unité. En les soumettant à l'action répétée d'impulsions synchrones, celle des verges, dont la période propre correspond à celle du courant, se met à vibrer tout entière à l'unisson des vibrations extérieures. Ce système, ingénieux et pratique, offre à l'observateur l'avantage de pouvoir juger par la vue et l'ouïe si l'accord existe; mais son application est nécessairement limitée aux fréquences industrielles (40 à 55 périodes) à moins d'employer un nombre d'anches considérable; en outre, il n'y en a qu'une qui puisse se mettre en accord plus ou moins exact avec le courant étudié, d'où évaluation seulement approchée; et enfin l'ensemble est fortement influencé par les variations de température, d'où nécessité d'un réglage qui demande beaucoup de temps avec ce dispositif. Au contraire, un fil métallique peut s'ajuster très rapidement et très facilement et se prêter à la mesure de fréquences quelconques, en faisant varier sa longueur ou sa tension.

Quand une corde fixée par une de ses extrémités et tendue par un poids vibre dans son entier, le nombre de vibrations doubles, ou périodes qu'elle exécute par seconde est donné par la formule

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{mg}{\rho s}}, \qquad (1)$$

où T est la durée d'une période; $m$, la masse des poids tenseurs; $l$, la longueur de la corde; $\rho$, sa densité et $s$ sa section; $g$, l'accélération due à la pesanteur (981). Le produit $\rho s$ représente la masse de l'unité de longueur de la corde. On peut encore écrire:

$$f = C\frac{\sqrt{m}}{l}, \qquad (2)$$

avec

$$C = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{\rho s}},$$

C étant une constante spécifique de la corde employée.

Si cette corde se met à vibrer sous l'action d'un courant alternatif, ses oscillations dépendent: 1° de son élasticité propre, en vertu de laquelle elle effectuerait $f$ vibrations par seconde; 2° de la fréquence F du champ, avec laquelle elle tend à se mettre à l'unisson. En modifiant $m$ ou $l$, on peut arriver à la résonance, et alors on a: $F = f$ ou $F = \frac{f}{2}$, suivant le mode d'excitation employé; car il y a deux moyens de provoquer les vibrations d'une corde métallique par un courant alternatif.

*a.* — On tend un fil de laiton $AA_1$, (fig. 1) entre les deux branches d'un aimant permanent NS fig. 3), disposé au milieu de l'intervalle $AA_1$.

Si on lance dans le fil un courant alternatif dirigé d'arrière en avant du tableau, c'est-à-dire vers l'observateur, le fil est repoussé dans le sens de la flèche 1 d'après la règle d'Ampère. Sous cette impulsion unique, il se mettrait à vibrer à raison de $f$ périodes par seconde comme si on l'avait attaqué avec un archet; mais les excitations dues au courant se répètent synchroniquement et en sens contraires; admettons, par exemple, que le fil ayant atteint son amplitude maxima dans la direction 1, le courant change de sens à cet instant, il tendra alors à ramener le fil dans la direction 2. Il est toujours possible, en agissant sur la longueur ou la tension de ce dernier, d'établir une concordance parfaite entre cette réaction du champ et l'élasticité propre du fil. Alors il y a résonance et les deux fréquences sont identiques:

$$F = f = C\frac{\sqrt{m}}{l}; \qquad (3)$$

$C_l$ est la constante C pour le laiton.

[1] Procédé acoustique pour déterminer la fréquence d'un courant sinusoïdal, *Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 489, 30 mars 1901. Voir aussi le fréquencemètre Kempf construit par Hartmann et Braun, *Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 340, 1er décembre 1901.

*b*. — On substitue au laiton un fil de fer doux et à l'aimant permanent, une bobine avec noyau. Dans ce cas, le courant alternatif circule à travers l'électro seul. On conçoit très facilement que chaque pôle N ou S qui se développe a pour effet d'attirer le fil de fer, de sorte que celui-ci,

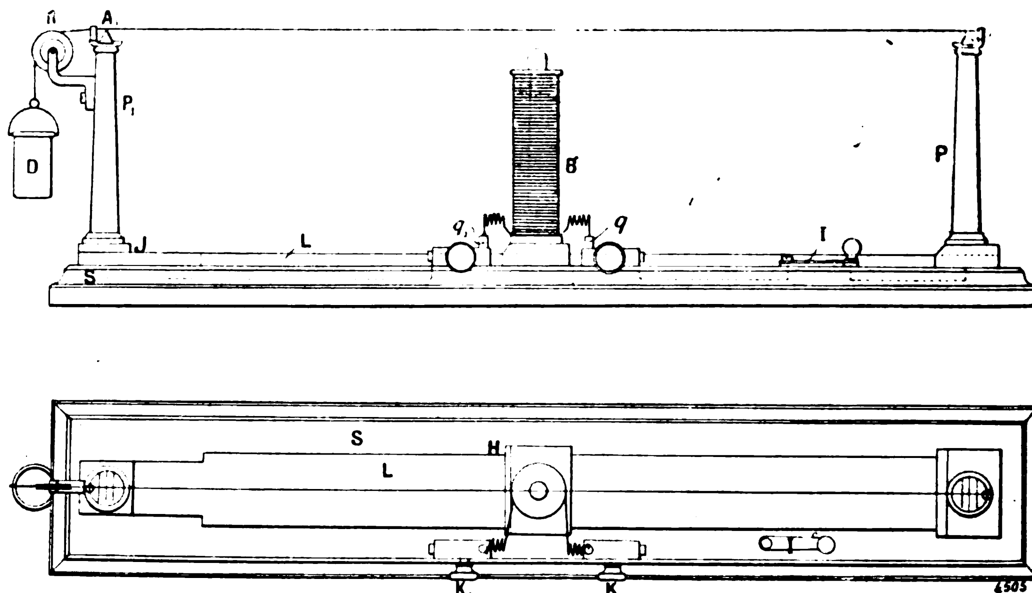



Fig. 1 et 2.

après réglage, exécute une vibration complète pour chaque alternance du courant. Sa fréquence $f$ est donc double de la fréquence F à mesurer :

$$F = \frac{f}{2} = C_f \frac{\sqrt{m}}{l}; \qquad (4)$$

$C_f$ est la moitié de la constante C pour le fer.

L'ajustement de la période propre du fil à la fréquence du courant s'obtient en agissant sur l'un des facteurs $m$ ou $l$, jusqu'à ce que le fil vibre régulièrement dans son ensemble ; comme l'aimant ou l'électro doivent toujours se trouver au milieu de l'intervalle $AA_1$, il est préférable de ne faire varier que la tension, parce qu'alors une seule manœuvre suffit.

Les formules (3) et (4) deviennent alors :

$F = f = C'_l \sqrt{m}$, pour le laiton ; $F = \frac{f}{2} = C'_f \sqrt{m}$ pour le fer.

L'appareil employé dans ces expériences est représenté par les figures 1, 2 et 3.

Sur un socle en bois S est vissée une règle de laiton L à section trapézoïdale aux extrémités de laquelle se dressent deux colonnettes métalliques P et $P_1$. L'une P est mobile le long de la règle et reliée électriquement avec elle par l'interrupteur I ; l'autre $P_1$ est fixe et isolée par interposition d'une bague J. A la partie supérieure de ces colonnettes, on voit : 1° deux prismes dont les arêtes délimitent la longueur utile du fil ; 2° deux tiges $a$ et $a_1$. Le fil est encastré

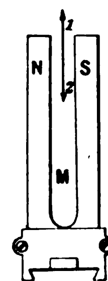



Fig. 3.

en $a$, passe dans une rainure pratiquée dans $a_1$, puis sur une poulie R et le bout libre porte un petit seau en laiton. Le choix de ce seau se justifie par des considérations d'ordre expérimental. Les essais ont en effet montré que l'ajustement de la charge est une opération très délicate et que, pour obtenir un bon résultat, il importe de ne faire croître la tension que très len-

tement, par exemple en employant de la grenaille très divisée ou des grains de plomb ajoutés un à un. Le seau offre l'avantage de retenir ces petites masses mobiles qui tomberaient d'un plateau de balance sans rebord. L'expérience terminée, la charge, seau et tare, est pesée exactement.

L'aimant M et la bobine B sont montés sur des curseurs taillés en queue d'aronde (fig. 3) et qui peuvent glisser le long de la règle. Pour les retirer, on les amène sur la gauche de la règle où se remarque une partie plus étroite ménagée dans ce but. Enfin K et $K_1$ sont les bornes de prise du courant. K communique avec A par l'intermédiaire de l'interrupteur I ; $K_1$ est en relation constante avec $A_1$.

Si on opère avec l'aimant, l'interrupteur I est fermé ; le courant suit le chemin $KIAA_1K_1$ ; avec la bobine, l'interrupteur I est ouvert et les extrémités de l'enroulement de B sont munies de fiches qu'on enfonce dans les plots K et $K_1$. Le courant passe de K à travers la bobine et revient en $K_1$.

Une division en millimètres tracée sur la règle facilite beaucoup le repérage des pièces mobiles.

Les essais ont porté sur un alternateur tétrapolaire, auto-excitateur, actionné par un moteur à gaz qui entraînait en même temps une dynamo à courant continu employée à la charge d'une batterie d'accumulateurs. Les résultats, confirmés par d'autres dispositifs de contrôle, montrent que l'appareil est susceptible de mettre en évidence les plus faibles variations de la fréquence. Ils sont consignés dans les tableaux I et II.

Pour donner une idée de la souplesse de ce fréquencemètre, on a répété un certain nombre de fois les mesures, en modifiant la longueur du fil et ajustant ensuite la charge jusqu'à l'accord parfait, qui était atteint quand le fil vibrait bien régulièrement dans son ensemble et rendait un son uniforme. Tant que les deux périodes n'étaient pas à l'unisson, on percevait nettement des battements d'autant plus nombreux que les périodes différaient davantage [1].

Les constantes des fils employés étaient les suivantes :

*Fil de fer doux. Électro-aimant.*

Diamètre du fil. . . . . . . . 0,3 mm
Valeur de $\rho s$ (masse de l'unité de longueur du fil déterminée à la balance) . . . . . . . . . . . 0,004913 gr
Valeur de la constante

$$C_f = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{g}{\rho s}} \ldots \quad 113,366$$

Nombre de spires de la bobine. 10 × 136
Diamètre du fil de la bobine. . 0,5 mm
Intensité du courant. . . . . . 1,5 ampère

*Fil de laiton. Aimant permanent*

Diamètre du fil . . . . . . . . 0,3 mm
Valeur de $\rho s$ (masse de l'unité de longueur du fil déterminée à la balance) . . . . . . . . . . . 0,005250 gr
Valeur de la constante

$$C_l = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{\rho s}} \ldots \quad 217,391$$

Intensité du courant. . . . . . 2,5 ampères

TABLEAU I

*Fil de fer doux. Electro-aimant* $C_f = 113,636$.

| $l$ cm. | $m$ gr. | $\sqrt{m}$ gr. | $\frac{\sqrt{m}}{l}$ | $F = C_f\frac{\sqrt{m}}{l}$ fréquence. | $n = \frac{F \times 60}{2}$ nombre de t : m. |
|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 450 | 21,213 | 0,354 | 40,227 | 1 206,81 |
| 55 | 373 | 19,313 | 0,351 | 39,886 | 1 196,58 |
| 50 | 300 | 17,321 | 0,346 | 39,318 | 1 179,54 |
| 45 | 250 | 15,811 | 0,351 | 39,886 | 1 196,58 |
| 40 | 190 | 13,784 | 0,345 | 39,204 | 1 176,12 |
| 35 | 150 | 12,247 | 0,350 | 39,773 | 1 193,19 |
| 30 | 108 | 10,392 | 0,346 | 39,318 | 1 179,54 |
| 20 | 75 | 8,660 | 0,346 | 39,318 | 1 179,54 |

Il est intéressant de remarquer que les fréquences indiquées par le tableau II et qui correspondent à la fin de la charge de la batterie sont supérieures à celles du tableau I ; ce qui s'explique facilement parce que la machine débitant moins tournait plus vite.

[1] On sait que le phénomène des battements se manifeste par ce fait que le son, d'abord au maximum d'intensité, décroît peu à peu, s'éteint, puis recommence à croître jusqu'au maximum, l'intervalle entre deux maximums étant d'autant plus grand qu'on est plus près de l'unisson. L'auteur a pu constater avec son appareil des intervalles d'une minute entre deux battements consécutifs.

Voir encore à ce sujet l'article Kempf et Hartmann, *Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 492.

TABLEAU II

*Fil de laiton. Aimant permanent* $C_l = 217,391$.

| $l$ cm. | $m$ gr. | $\sqrt{m}$ gr. | $\frac{\sqrt{m}}{l}$ | $F = C_l \frac{\sqrt{m}}{l}$ fréquence. | $n = \frac{F \times 60}{2}$ nombre de t : m. |
|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 120 | 10,755 | 0,182 | 39,565 | 1 186,95 |
| 55 | 95 | 9,747 | 0,177 | 38,478 | 1 154,34 |
| 50 | 89 | 9,434 | 0,189 | 41,087 | 1 232,61 |
| 45 | 74,2 | 8,613 | 0,191 | 41,522 | 1 245,66 |
| 40 | 63 | 7,937 | 0,198 | 43,043 | 1 291,29 |
| 35 | 46 | 6,782 | 0,194 | 42,174 | 1 266,22 |

En adoptant pour les mesures la méthode de la tension constante et longueur variable, on transformera facilement l'appareil en fréquencemètre et, par suite, en tachymètre ou comptetours, le nombre de tours-minute étant donné par la relation $n = \frac{F \times 60}{p}$, F étant la fréquence et $p$ le nombre de paires de pôles (colonnes 6). La détermination du glissement ne présentera pas plus de difficultés. Il est évident que, pour pouvoir lire directement sur la règle les nombres cherchés, il faudra soumettre l'appareil à un étalonnage préalable. T. PAUSERT.

***Compteur de l'Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft pour courants polyphasés.*** *Elektrotechnische Rundschau*, t. XIX, p. 26.

Dans les compteurs à courants triphasés devant servir pour les cas où les phases ne sont pas équilibrées, il y a au moins deux bobines de tension, ce qui constitue une perte continue environ double de celle que l'on a à subir avec les compteurs alternatifs ordinaires. Pour diminuer cette perte, on a recours à des fils d'une extrême finesse qui sont d'un coût élevé et qui compromettent la sécurité de l'appareil.

L'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, de Berlin, est parvenue à réduire la perte d'énergie au minimum en n'employant qu'une seule bobine de tension. Le compteur est constitué par un moteur d'induction sur la partie mobile duquel agissent deux des trois courants principaux en combinaison avec la troisième tension.

Soient $J_1$, $J_2$, $J_3$ les intensités de courant dans les trois fils de ligne, $e_1$ $e_2$ $e_3$ les tensions entre fils; l'énergie consommée dans le circuit d'utilisation est donnée par la relation

$$w = e_1 J_2 \cos \widehat{e_1 J_2} - e_2 J_1 \cos \widehat{e_2 J_1}$$

En pratique, on obtient une importante simplification en limitant la mesure aux cas pour lesquels $e_1 = e_2$. On a :

$$w = e_2 J_2 \cos \left(\widehat{e_2 J_2} + \widehat{e_1 e_2}\right) - e_2 J_1 \cos \widehat{e_2 J_1}$$

Cette équation ne contient plus que trois grandeurs : deux intensités principales et une tension. Le compteur établi sur cette remarque n'aura donc qu'une seule bobine de tension, ce qui est un avantage essentiel puisque ces bobines sont d'un prix de revient élevé et nécessitent un espace relativement considérable. En outre, la perte d'énergie par le compteur est à peu près réduite de moitié.

Il y a lieu de remarquer encore que dans les compteurs-moteurs alternatifs établis d'après le

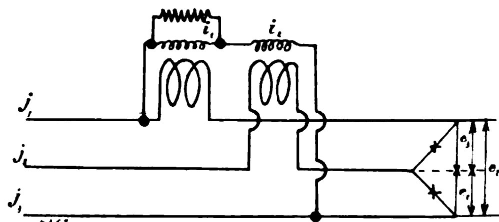



Fig. 1.

principe de Ferraris, le courant de tension est très différent de phase de la tension même, de sorte que, à égalité d'intensité du courant de tension, la perte d'énergie est sensiblement moindre qu'avec les autres compteurs.

La force P exercée par le compteur sur l'induit en court-circuit est proportionnelle au produit des deux courants développant le champ tournant, par le sinus de leur différence de phase. Pour rendre cette force P proportionnelle à l'énergie $w$ de l'égalité précédente, on fait agir le courant engendré par la tension $e_2$ à la fois avec les courants principaux $J_1$ et $J_2$.

Désignons par $i_1$ et $i_2$ (fig. 1) les parties du courant de tension agissant sur les courants principaux $J_1$ et $J_2$, nous avons :

$$P = J_2 i_2 \sin \widehat{J_2 i_2} + J_1 i_1 \sin \widehat{J_1 i_1}$$

on peut faire différer $i_1$ et $i_2$ de telle sorte que

$$\sin \widehat{J_2 i_2} = \cos \left(\widehat{e_2 J_2} + \widehat{e_1 e_2}\right)$$

$$\sin \widehat{J_1 i_1} = \cos \widehat{e_2 J_1}$$

C'est le cas, si l'on a entre les angles les relations

$$\widehat{J_2 i_2} + \widehat{e_2 J_2} + \widehat{e_1 e_2} = 90^\circ$$
$$\widehat{J_1 i_1} + \widehat{e_2 J_1} = 90^\circ$$

Comme dans le premier cas $e_2 e_1 = 120^\circ$ et

$$\widehat{J_2 i_2} + \widehat{e_2 J_2} = \widehat{e_2 i_2},$$

on doit avoir :

$$\widehat{e_2 i_2} = 90^\circ + 120^\circ = 180^\circ + 30^\circ.$$

Une différence de phase de 180° s'obtient en renversant le courant de sorte que l'on a à renverser la partie $i_2$ de courant agissant sur $J_2$ et à la retarder de 30°.

Pour la deuxième égalité, on a

$$\widehat{J_1 i_1} + \widehat{e_2 J_1} = \widehat{e_2 i_1}$$

et l'on doit avoir

$$\widehat{e_2 i_1} = 90^\circ.$$

La partie $i_1$ de courant de tension agissant sur $J_1$ doit avoir une différence de 90° avec la phase de la tension. Le réglage se fait à l'aide du circuit en dérivation. G. G.

### *Pyromètres Siemens et Halske*

Dans le numéro du 22 mars 1902 (t. XXX, p. 446) ont été décrits divers pyromètres construits par la maison Siemens et Halske. Celle-ci nous prie de faire remarquer que la conception du pyromètre optique est due aux professeurs Holborn et Kurlbaum.

## MAGNÉTISME

### *Sur le changement des dimensions du fer causé par l'aimantation*, par Edward Rhoads, *Phil. Mag.* [VI], t. II, p. 463, novembre 1901.

L'auteur se propose d'étudier la relation qui existe entre les changements de longueur et de largeur d'un échantillon de fer très mince, produits par l'aimantation. Cette question a déjà été abordée par plusieurs auteurs [1], mais il n'y a guère que deux mémoires qui correspondent à une aimantation uniforme : le mémoire de Nagaoka et Honda (*l. c.*) et le mémoire de Bidwell (*l. c.*) et d'ailleurs les conclusions auxquelles ils arrivent sont contradictoires. Bidwell obtient, en effet, une diminution de volume, en employant des champs faibles; alors que Nagaoka et Honda obtiennent, au contraire, une augmentation de volume dans tous les champs qu'ils ont utilisés. D'autre part, on n'y remarque aucune relation simple entre le changement de dimension transversal et longitudinal. Cela provient très probablement du manque d'isotropie [1] du métal utilisé, ainsi que du manque d'uniformité de contour de l'anneau employé par Bidwell.

Si les expériences de l'auteur ne tranchent pas absolument le point que nous venons de rappeler, elles n'en restent pas moins intéressantes, car elles jettent une vive lumière sur plusieurs autres points assez susceptibles de discussions et elles déterminent la forme du cycle de changement de longueur, car c'est surtout l'appareil donnant les changements de longueur qui est très précieux au point de vue de la précision des résultats obtenus.

Les échantillons examinés étaient des lames minces de fer étamées, de 21 cm de long et dont le rapport de la longueur à la largeur moyenne était comme 200 : 1. On ne mesurait que le changement produit sur une longueur de 7 cm dans la portion centrale de la lame, de manière à éliminer les irrégularités d'aimantation qui existent aux bords de la lame. Deux petits tubes concentriques adaptés sur l'échantillon sont fixés à l'un et l'autre bout de ce dernier de manière que s'il venait à se dilater ou se contracter, ils puissent se meuvoir l'un par rapport à l'autre.

Le tube extérieur qui avait, en général, 7 cm de plus que l'autre comme longueur, était formé de deux parties; une de 5 cm de long en platine et le reste en laiton : ceci donne la « compensation des variations de température ». Ces deux tubes dépassent de quelques centimètres le bout de la lame à étudier et le mouvement relatif de leurs bouts agissent sur le bras très petit d'un levier, — environ 1,75 cm de long —, dont le grand bras, — environ 9 cm — porte un petit miroir. L'échelle à lectures fut placée à une distance telle qu'un changement de lon-

(1) Joule. *Phil. Mag.*, t. XXX, p. 76 et 225 (1847).
Barett. *Nature*, t. XXVI, p. 485.
Bidwell. *Proceed. Roy. Soc.*, t. LVI, p. 94 (1894).
Knot. *Trans. Roy. Soc. Edin.*, t. XXXVIII, p. 527; t. XXXIX, p. 457 (1898).
Nagaohka et Honda. *Phil. Mag.*, t. XLVI, p. 262 (1898).

(1) Voir le mémoire de Rhoads de *Phys. Rev.*, t. VII, p. 65, sur l'effet de l'anisotropie sur le métal.

gueur de $10^{-7}$ de la lame qu'on examinait, donnait 1 mm de déviation sur l'échelle.

La lame avec ses tubes environnants fut placée à l'intérieur et suivant l'axe d'une bobine à circulation centrale d'eau et qui donnait un champ de 98 C. G. S. par ampère, constant, excepté vers les bouts de la lame-échantillon.

Pour éviter les vibrations du miroir, la bobine était suspendue au moyen de bandes de caoutchouc.

Les courbes obtenues au moyen de cet appareil sont très uniformes (sans sauts brusques) et elles ne sont pas influencées par la température. Mais si l'on démonte l'appareil pour le remonter de nouveau, les courbes obtenues, dans les mêmes conditions que tout à l'heure, ne coïncident pas avec les précédentes.

La courbe 1 montre la forme présentée par plusieurs cycles de changements de longueur obtenus avec des champs d'intensités différentes. Leur caractère fut découvert et discuté pour la première fois par Nagaoka. Elle montre que l'échantillon, qui s'allonge quand le champ augmente en intensité, continue à s'allonger quand le champ est diminué graduellement (excepté

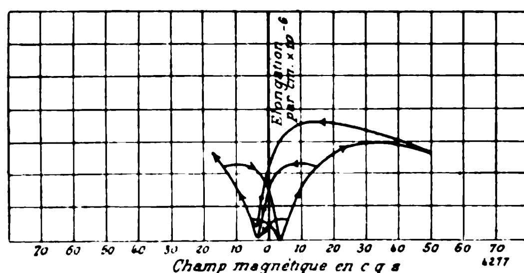



Fig. 1.

pour un cycle très petit), et on obtient un maximum de longueur après quoi le raccourcissement commence et continue jusqu'à ce que le champ soit entièrement supprimé et continue dans la direction opposée avec une intensité suffisante pour chasser le magnétisme résiduel. En accroissant ensuite l'intensité du champ, la lame est aimantée en sens contraire et recommence à s'allonger.

L'auteur a pu distinguer quatre classes de cycles dépendant des limites entre lesquelles on faisait varier le champ :

La première classe, se produisant dans un champ très faible 2 à 3 C. G. S., où il n'y a pas de changement de longueur; de sorte que le cycle est une ligne horizontale.

La deuxième classe, champ jusqu'à environ 10 C. G. S.; en diminuant le champ, la lon-

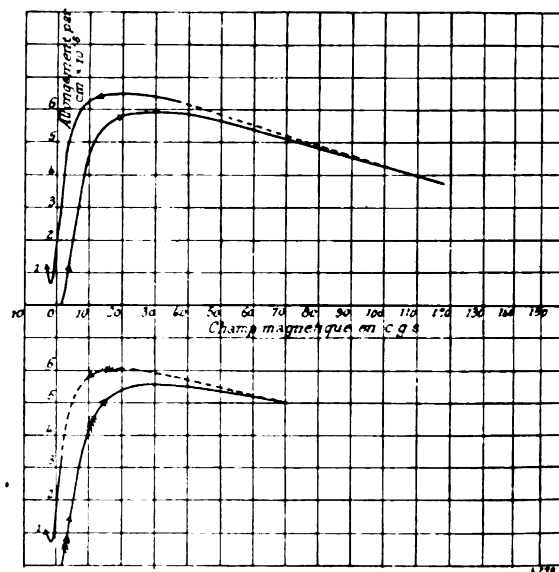



Fig. 2. — Courbe supérieure pour échantillon de 2 mm d'épaisseur; courbe inférieure pour échantillon de 1 mm.

gueur commence à décroître, après être d'abord restée constante.

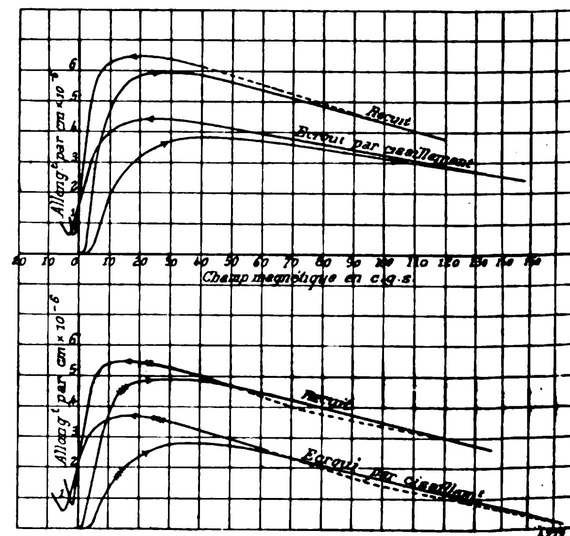



Fig. 3. — Courbes relatives à des échantillons coupées suivant des directions rectangulaires dans une même feuille.

La troisième classe, c'est le cycle pendant lequel l'allongement produit pendant qu'on accroît le champ se continue même après qu'on commence à diminuer le champ.

La quatrième classe. Le produit dans des champs où le maximum d'allongement a déjà été atteint et la lame s'est considérablement raccourcie, en décroissant le champ de nouveau il y a une anse à la partie inférieure de la courbe originale.

Les deux courbes (fig. 2), portent sur un point plusieurs fois mis en discussion, à savoir, si l'épaisseur actuelle de la lame à étudier a un effet sur le changement de longueur. Il est naturel de supposer que cela n'existe pas, comme ces courbes le montrent, pourvu que la condition d'« étendue indéfinie » soit suffisamment remplie pour l'échantillon qu'on veut étudier ; mais en se

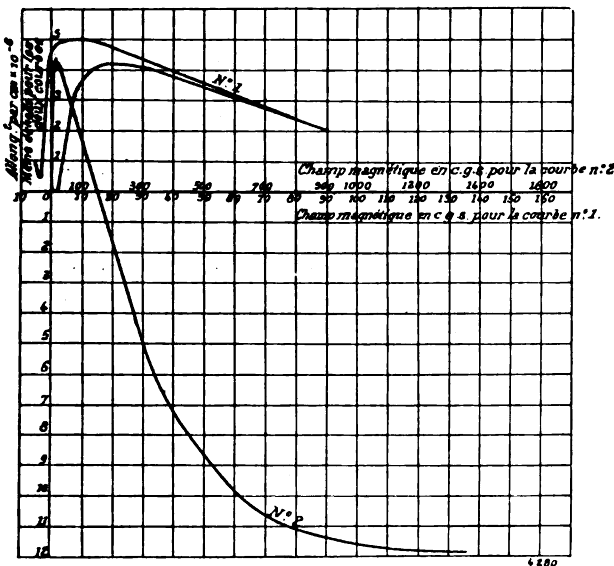



Fig. 4. — Courbe supérieure relative à des champs faibles; courbe inférieure relative à des champs intenses.

rapportant à un mémoire de Lochner (*Phil. Mag.*, t. XXXVI, p. 498) on peut se faire une idée à quelle extension cette question est arrivée.

La dernière série de courbes porte l'effet du recuit (fig. 3. et 4).

L'appareil destiné à montrer le changement de largeur consiste en une lame mince de fer de $5 \times 36$ cm dans le centre de laquelle est un dispositif permettant d'y fixer un levier parallèlement à la lame et au bout duquel se trouve fixé un miroir. Ce système se trouve entièrement enfermé dans une bobine horizontale de section elliptique.

La force démagnétisante pour un spécimen des dimensions ci-dessus est considérable, mais le champ et l'aimantation autour du milieu de la lame se trouvent être suffisamment uniformes. Le caractère des courbes obtenues est inverse de celui des courbes d'allongement dont nous avons parlé ci-dessus. Mais ces expériences ne sont pas d'une grande précision et les résultats obtenus ne sont pas absolus, vu qu'ils changent dès qu'on touche à l'appareil.

Eugène Néculcéa.

***Comparaison expérimentale des différents modes d'hystérésis : rotatif, statique et alternatif,*** par **A. Dina**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 41, 16 janvier 1902.

Dans l'hystérésis statique et dans l'hystérésis alternatif, la force magnétisante a une direction fixe et une grandeur variable : le cycle est décrit soit lentement et par échelons dans le premier cas (méthodes balistique et magnétomotrice), soit rapidement et d'une façon continue, dans le second.

Dans l'hystérésis rotatif, la force magnétisante a une grandeur constante et une direction variable, et le cycle est, en général (cas des dynamos), décrit très rapidement.

L'auteur a effectué une série d'essais au Polytechnicum de Zurich, dans lesquels il a étudié sur un même échantillon, d'abord l'hystérésis rotatif, puis les deux autres modes d'hystérésis, qu'il a ainsi pu comparer au premier.

Une bobine de fil de fer fin isolé tourne dans un champ magnétique : on mesure l'accroissement de résistance du fil et on en déduit la température du fer, et, par suite, la perte par hystérésis : la bobine présente la forme d'un cylindre creux, mince, et convient très bien à l'étude des autres modes d'hystérésis.

Soient :

$t$ la température de la bobine au temps $\tau$,

$t_a$ la température extérieure constante et, en même temps, la température initiale de l'échantillon en essai,

$\tau$ et $\tau'$ les accroissements de température par cycle dus respectivement à l'hystérésis et aux courants de Foucault,

$n$ le nombre de cycles par seconde,

M la masse,

$c$ la chaleur spécifique moyenne,

$Mc$ la valeur en eau de tout le cylindre d'essai,

S la surface de refroidissement,

$h$ le coefficient d'évacuation de la chaleur à l'extérieur.

De la quantité de chaleur $Mc(\tau + \tau')\, n\, d\tau$ dégagée pendant le temps $d\tau$, il reste dans la bobine une partie seulement $Mc\, dt$, tandis que l'autre partie $hS\,(t-t_a)$ est évacuée à l'extérieur, ce qui donne l'égalité.

$$Mc(\tau + \tau')\, n\, d\tau = Mc\, dt + hS\,(t - t_a),$$

d'où en intégrant,

$$t - t_a = \theta = \frac{\tau + \tau'}{\frac{hS}{Mc}}\, n \left(1 - e^{-\frac{hS}{Mc}\tau}\right)$$

La température extérieure $t_a$, devant rester exactement constante, il faut donner à l'essai une durée très courte; dans ces conditions, on peut simplifier la formule, comme suit :

$$\theta = (\tau + \tau')\, n\tau - \frac{1}{2}(\tau + \tau')\, n \frac{hS}{Mc}\tau^2,$$

le second terme étant beaucoup plus petit que le premier.

Si on a relevé expérimentalement la courbe $\theta = f(\tau)$, on peut calculer le second terme. Soient $\theta_1$, $\theta_2$, $\theta_3$, trois accroissements de [1] température, correspondant à des intervalles de temps égaux $\Delta\tau$, le calcul des différences donne

$$\frac{1}{2}\frac{hS}{Mc}(\tau + \tau')\, n = -\frac{\Delta^2\theta}{2\Delta\tau^2} = \frac{\theta_2 - \frac{\theta_1 + \theta_3}{2}}{\Delta\tau^2},$$

et finalement de l'équation

$$\theta = (\tau + \tau')\, n\tau - \frac{\theta_2 - \frac{\theta_1 + \theta_3}{2}}{\Delta\tau^2}\tau^2,$$

on déduit l'inconnue du problème $(\tau + \tau')$.

Pour mesurer l'accroissement de température, on ne peut songer à employer un couple thermo-électrique, qui ne donnerait que la valeur relative à un point : on étudie l'augmentation de résistance avec un pont de Wheatstone, dans lequel la variation du courant est proportionnelle à la variation de résistance, et les courants envoyés dans la bobine donnent naissance à une perte Joule absolument négligeable; si $r$ représente la résistance totale, $\alpha$ le coefficient de variation avec la température, on obtient

$$\theta = \frac{r_t - r_a}{\alpha r_a} = \frac{\Delta r}{\alpha r_a}.$$

Le galvanomètre employé doit avoir une grande sensibilité, une petite durée d'oscillation, et un amortissement convenable, pour qu'à chaque variation de la température corresponde immédiatement une déviation proportionnelle.

$\tau + \tau'$ étant connu, il faut éliminer $\tau'$; or, l'action des courants de Foucault est, en général, négligeable, si le fil est suffisamment fin : on peut la calculer, cependant, parla formule

$$\tau' = \frac{V}{AMc}\,\frac{\pi^2 \mathfrak{B}^2 d^2}{16\rho}\, n,$$

où $d$ et $\rho$ désignent le diamètre et la résistance spécifique du fil, A l'équivalent mécanique de la calorie.

Pour mesurer l'induction maximum, s'il s'agit d'un électro-aimant, on enroule quelques spires sur une section transversale de la bobine, et on déplace brusquement cette dernière de 180° ; on obtient, au balistique, une élongation proportionnelle au flux, qui a passé de sa valeur maximum positive à la valeur maximum négative; s'il s'agit d'un champ tournant obtenu par des courants polyphasés, provenant d'un générateur pourvu d'un plateau de Joubert, on relève la courbe de la force électromotrice dans ces quelques spires; la courbe intégrale de la précédente donne la courbe des flux, de laquelle on déduit l'induction maximum.

Reste maintenant à déduire de $\tau$, la quantité de chaleur degagée $Mc\,\tau$.

L'isolant, représentant une grande partie de la masse, il faut en tenir compte dans l'évaluation de $Mc$ : pour cela, on envoie un courant continu $i$ connu, dans le fil, et on observe la loi de variation $\theta = f(\tau)$, comme précédemment, et on en déduit l'élévation de température T qui se produirait dans l'unité de temps, si la chaleur était toute absorbée : on a alors

$$AMcT = ri^2 . 10^7,$$

expression qui donne $AMc$.

[1] On a en effet,

$$\Delta_1\theta = \theta_2 - \theta_1,$$
$$\Delta_2\theta = \theta_3 - \theta_2$$

et pour la différence seconde

$$\Delta^2\theta = \Delta_2\theta - \Delta_1\theta = \theta_3 - \theta_2 - (\theta_2 - \theta_1) = \theta_1 + \theta_3 - 2\theta_2.$$

Le fil essayé était magnétiquement dur : il avait un diamètre de 0,0235 cm et un coefficient de température $\alpha = 0,00433$. Les constantes de la bobine, enroulée sur un cylindre de bois, étaient : 18 couches contenant en tout 2635 spires ; $r = 2020$ ohms à 15° ; hauteur du cylindre 8,05 cm ; diamètres extérieur et intérieur, 9,75 et 7,95 cm ; $n = 20$, la bobine tournant à 1 200 t : m dans le champ d'une petite dynamo bipolaire Edison. Les essais ont été faits entre les limites $\mathfrak{B} = 7\,050$ et $\mathfrak{B} = 18\,100$ ; au-dessous de 7 050, la sensibilité était insuffisante ; au-dessus de 18 100, le champ de dispersion et le centrage imparfait, occasionnaient la production de forces électromotrices alternatives qui empêchaient les mesures.

La figure 1 représente les accroissements de

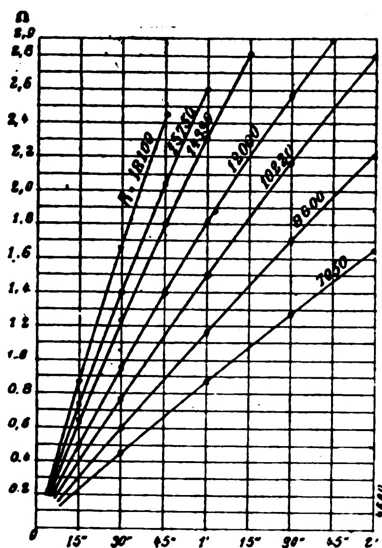



Fig. 1.

résistance en fonction du temps, ramenés à 2020 Ω et 1 200 t : m ; d'autre part, $AMc = 350 . 10^7$ ; $V = 31,75$ cm³.

On en déduit la table suivante, représentant la perte par hystérésis rotatif $W_r$, en fonction de l'induction $\mathfrak{B}$ :

| $\mathfrak{B}$ | $W_r$ |
|---|---|
| 7 050 | 9 650 |
| 8 600 | 12 860 |
| 10 220 | 16 350 |
| 12 000 | 20 930 |
| 14 330 | 26 890 |
| 15 750 | 30 570 |
| 18 100 | 36 230 |

Ceci posé, on a enroulé quelques couches de fil de cuivre sur la bobine et on l'a étudiée au balistique : d'où le tableau suivant, relatif aux pertes par hystérésis statique $W_s$,

| $\mathcal{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mu_s = \frac{\mathfrak{B}}{\mathcal{H}}$ | $W_s$ | $\eta_s = \frac{W_s}{\mathfrak{B}^{1,6}}$ |
|---|---|---|---|---|
| 5,12 | 2 115 | 412 | 1 320 | 6,31 $10^{-3}$ |
| 6,95 | 4 140 | 595 | 3 970 | 6,47 |
| 9,08 | 6 310 | 695 | 7 810 | 6,50 |
| 10,95 | 7 900 | 721 | 10 990 | 6,38 |
| 13,28 | 9 590 | 722 | 14 900 | 6 34 |
| 16,15 | 11 160 | 692 | 18 900 | 6,31 |
| 19,60 | 12 640 | 648 | 22 980 | 6,29 |
| 23,80 | 14 020 | 589 | 27 000 | 6,26 |
| 30,60 | 15 710 | 513 | 32 150 | 6,21 |
| 47,50 | 17 760 | 374 | 38 400 | 6,10 |

La comparaison entre les hystérésis statique et rotatif donne :

| $\mathfrak{B}$ | $\frac{W_s - W_r}{W_s}$ |
|---|---|
| 7 050 | — 4,3 p. 100. |
| 8 600 | — 2,3 » |
| 10 220 | 0,6 » |
| 12 000 | 1,7 » |
| 14 330 | 3,7 » |
| 15 750 | 5,2 » |
| 18 100 | 8,3 » |

On peut appliquer à l'étude de l'hystérésis alternatif, le même procédé que pour l'hystérésis rotatif : mais il se présente deux difficultés : 1° il faut tenir compte de la quantité de chaleur dégagée par effet Joule dans les spires magnétisantes, quantité qui est du même ordre que la perte étudiée ; 2° la mesure de l'induction, se faisant d'après la force électromotrice induite dans quelques spires enroulées sur la bobine de fer, nécessite, pour être précise, la connaissance de la courbe de cette force électromotrice, courbe qui s'écarte toujours de la sinusoïde, et cela, d'autant plus que $\mathfrak{B}$ est plus grand.

La méthode du wattmètre n'est pas meilleure : elle est trop peu sensible. L'auteur a préféré déduire les pertes par hystérésis de la construction des courbes de l'induction en fonction du champ magnétisant.

Soient : $N_1$, le nombre des spires magnétisantes enroulées uniformément sur la bobine et de résistance $r_1$, $N_2$ le nombre des spires secondaires, placées au-dessus des précédentes, $e$ et $i$ les valeurs instantanées de la tension aux bornes

et du courant dans le primaire, $e_1$ et $e_2$ les forces électromotrices induites dans les deux enroulements, T la durée d'une période, on a

$$\int^{T} eidt = \int_0^{T} r_1 i^2 dt - \int_0^{T} e_1 i dt.$$

La perte dans le fer est représentée par

$$-\int_0^{T} e_1 i dt,$$

mais

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

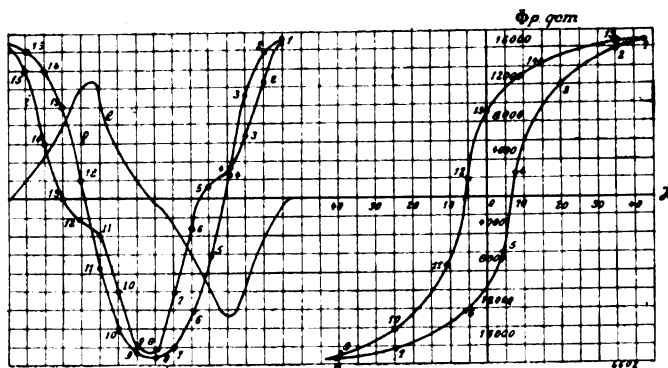



Fig. 2.

la perte par cm³ et par cycle dans le fer est donc

$$W_a = -\frac{1}{V}\frac{N_1}{N_2}\int_0^{T} e_2 i dt. \qquad (1)$$

Soient Φ et $\Phi_0$ les valeurs instantanées et maxima du flux, à travers une spire secondaire, on a

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

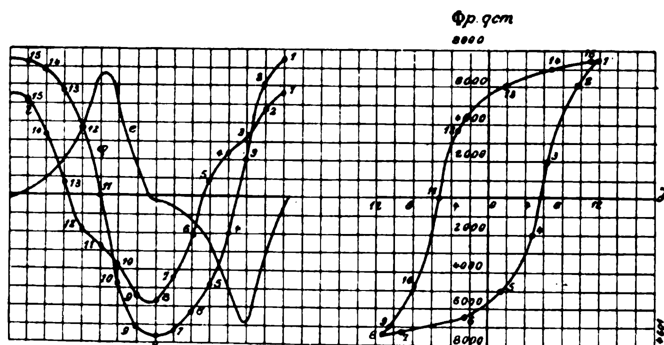



Fig. 3.

d'où

$$\Phi_0 = \frac{1}{2N_2}\int_0^{\frac{T}{2}} e_2 dt \qquad (2)$$

et

$$\Phi = \frac{1}{N_2}\left(\frac{1}{2}\int_0^{\frac{T}{2}} e_2 dt - \int_0^{t} e_2 dt\right) \qquad (3)$$

D'autre part, soient : $s$ la section du fer, $s'$ la surface des spires magnétisantes, $\psi$ le décalage entre Φ et $i$, nous pouvons écrire

$$\mathfrak{B}^2 s^2 = \Phi^2 + \mathcal{H}^2 (s'-s)^2 - 2\mathcal{H}\Phi (s'-s)\cos\psi,$$

ou avec une précision suffisante

$$\mathfrak{B} = \frac{\Phi}{s} - \mathcal{H}\left(\frac{s'}{s} - 1\right)\cos\psi. \qquad (4)$$

A l'aide des formules (1), (2), (3) et (4), nous pouvons étudier l'hystérésis alternatif et le comparer à l'hystérésis statique : il suffit de porter en abscisses les valeurs de $\mathcal{H}$ (proportionnelles à $i$) et en ordonnées les valeurs de l'induction corrigées d'après la formule (4).

Les figures 2 et 3 se rapportent aux courbes

d'hystérésis pour $\mathfrak{B} = 7\,405$ et $\mathfrak{B} = 16\,640$ (1).

Cette comparaison est indiquée dans le tableau suivant :

| $\mathfrak{B}$ | $W_a$ | $W_s$ | $\frac{W_a - W_s}{W_s}$ |
|---|---|---|---|
| 4 100 | 4 250 | 3 950 | 7,5 p. 100. |
| 7 405 | 10 750 | 10 000 | 7,5 » |
| 10 350 | 18 050 | 16 850 | 7,1 » |
| 12 280 | 23 450 | 22 000 | 6,6 » |
| 13 870 | 28 500 | 26 520 | 7,4 » |
| 15 250 | 33 000 | 30 800 | 7,1 » |
| 16 640 | 37 370 | 34 920 | 7 » |
| 17 280 | 39 800 | 36 030 | 7,7 » |

Finalement, la comparaison entre les hystérésis alternatif et rotatif, donne :

| $\mathfrak{B}$ | $W_r$ | $W_a$ | $\frac{W_a - W_r}{W_a}$ |
|---|---|---|---|
| 7 050 | 9 650 | 10 030 | 3,8 p. 100. |
| 8 600 | 12 860 | 13 600 | 5,4 » |
| 10 220 | 16 350 | 17 750 | 7,9 » |
| 12 000 | 20 930 | 22 800 | 8,2 » |
| 14 330 | 26 890 | 29 850 | 9,9 » |
| 15 750 | 30 570 | 34 500 | 11,4 » |
| 18 100 | 36 230 | 42 500 | 14,7 » |

La comparaison est encore faite dans les figures 4 et 5.

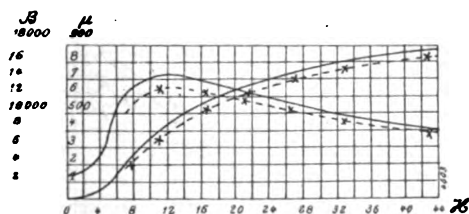


Fig. 4.

De toute cette étude résultent les conclusions suivantes, relativement au fer essayé : L'hystérésis alternatif est toujours plus grand que l'hystérésis rotatif; l'écart relatif croît avec l'induction et atteint pour $\mathfrak{B} = 18\,000$, une valeur d'environ 15 p. 100; il est aussi plus grand que l'hystérésis statique, mais l'écart relatif est constant et égal à environ 7 p. 100.

Le fait de la rotation tend à diminuer la perte par hystérésis, tandis que l'accroissement de vitesse dans le parcours du cycle, agit en l'augmentant : au-dessous de $\mathfrak{B} = 10\,000$, la seconde

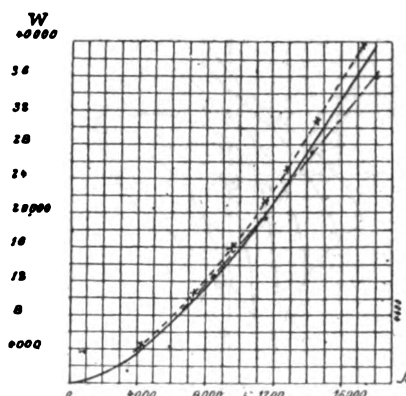


Fig. 5.

influence est prépondérante ; au-dessus de $\mathfrak{B} = 10\,000$, c'est la seconde qui l'emporte : aussi l'hystérésis rotatif est-il plus grand que l'hystérésis statique jusqu'à $\mathfrak{B} = 10\,000$, tandis qu'il devient plus petit au-dessus de $\mathfrak{B} = 10\,000$.

A. M.

***Sur la construction des aimants permanents*** par le Pr **Ascoli**. *L'Elettricista*, t. X, p. 255, 1er novembre 1901.

L'auteur a étudié les variations de l'état magnétique quand, soumis à une force magnétisante constante, un métal reçoit un choc d'intensité déterminée. Les courbes de la figure 1 donnent les variations de l'intensité d'aimantation subies par le métal sous l'effet d'un même choc, pour les diverses valeurs de la force magnétisante. La courbe extérieure correspond à un cycle d'aimantation complet, et les autres aux cycles parcourus en prenant comme point de départ différents points de la partie descendante du premier et en remontant jusqu'à la saturation, tels que PRASP (fig. 2). Les divers points où ces courbes coupent l'axe OH (fig. 1), donnent sur le cycle d'aimantation la courbe pointillée de la figure 2. C'est le lieu des points pour lesquels le métal possédera une stabilité parfaite au point de vue des chocs.

Pour aimanter des barreaux très courts, on sait qu'on leur fait parcourir la partie descen-

(1) Les essais ont été effectués à l'aide d'un alternateur du vieux type Siemens, donnant une force électromotrice très voisine de la sinusoïde.

dante PRR′ jusqu'à la rencontre de la courbe d'aimantation avec une droite OR′ dont l'angle avec OI est déterminé par la forme du barreau.

L'étude d'un métal au point de vue de la stabilité devra porter sur la portion R′C, et dans la figure 1 sur la partie correspondante ργ; l'auteur a vérifié, en effet, que de deux échantillons d'acier (Alleward et Glisenti) l'un présente plus de stabilité que l'autre pour les plus grandes valeurs de l'angle R′OI, et que l'inverse a lieu pour les plus petites valeurs.

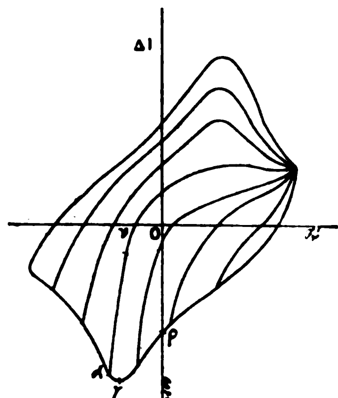


Fig. 1.

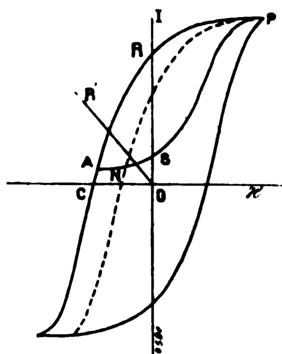



Fig. 2.

En pratique, il y a souvent plus d'importance à avoir une plus grande stabilité et à sacrifier quelque peu l'intensité d'aimantation résiduelle. Au lieu d'arrêter l'aimantation en R′, on descendra plus bas, pour remonter avec une courbe telle que ANS qui rencontre la ligne de stabilité parfaite (pointillée) à son point d'intersection avec OR′.

P.-L. C.

## DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

***Note sur la longueur de l'étincelle de rupture dans un circuit induit***, par **R. Beattie**, *Phil. Mag.* [VI], t. II, p. 653, décembre 1901.

L'auteur donne dans cette courte note des renseignements précieux sur la longueur de l'étincelle de rupture dans un circuit induit, qui, comme nous allons le voir dans un instant, dépend de la nature métallique des électrodes.

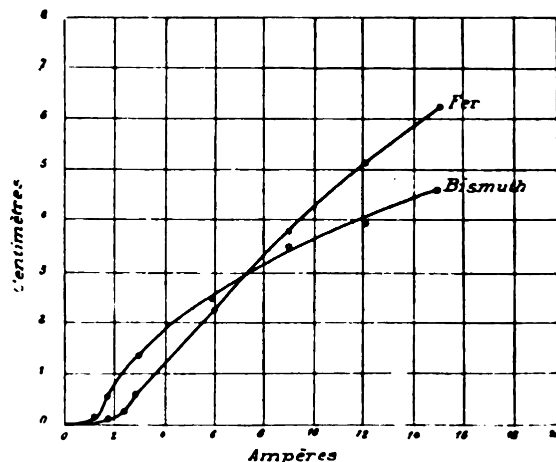



Fig. 1.

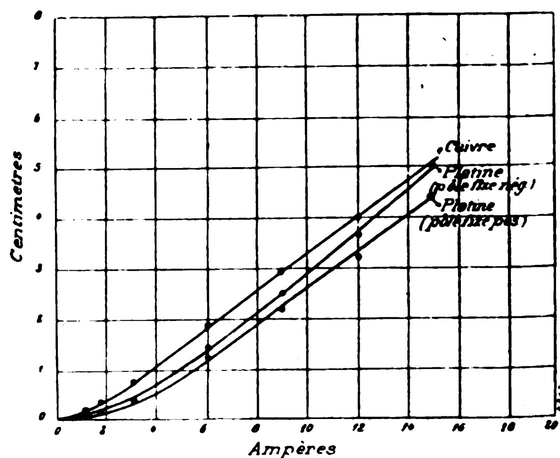



Fig. 2.

Afin d'obtenir une longueur d'étincelle aisément mesurable, M. Beattie augmente la self-induction du circuit (jusqu'à environ 1 henry) en mettant en dérivation un électro-aimant dont l'entrefer est aussi grand que possible, de manière que la réluctance du circuit magnétique et

par suite la self-induction de l'aimant soit presque constante.

La rupture brusque était produite au moyen d'un système de deux fortes bandes de caoutchouc et d'un déclic. Le temps employé par ce

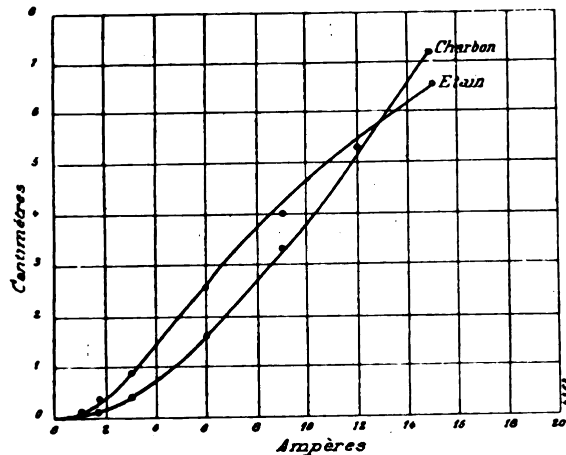



Fig. 3.

système pour écarter les deux électrodes (dont l'une est fixe) d'une distance $l$ est donnée par

$$t = 0{,}027\sqrt{l}$$

et comme les plus longues étincelles observées n'ont pas dépassé 7 cm dans ces recherches, ce temps se réduit à 0,07 seconde. Le courant utilisé variait depuis 1,2 à 15 ampères.

Les résultats obtenus par l'auteur sont contenus dans le tableau ci-dessous et dans les figures 1 à 5.

On y remarque immédiatement que la longueur de l'étincelle varie avec le courant de différentes manières suivant la nature métallique des électrodes employées, de sorte que, si avec un métal on obtient une étincelle plus longue qu'avec un autre pour un courant donné, le contraire peut se produire pour une autre valeur

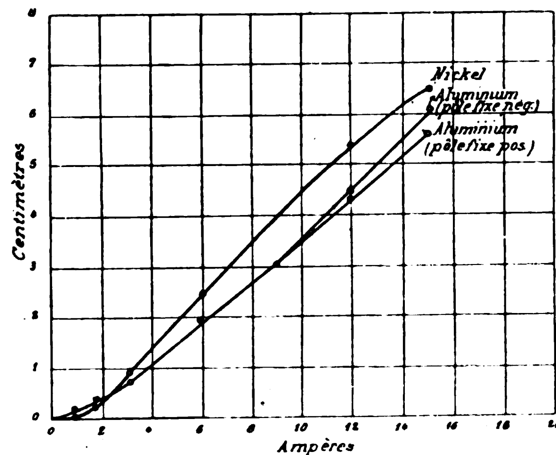



Fig. 4.

du courant. C'est ainsi qu'avec un courant de 15 ampères le charbon donne une plus longue étincelle que le platine ; mais si l'on diminue le courant à 3 ampères, ce sont les métaux facilement fusibles (exemple : le Pb, le Bi) qui donnent les plus longues étincelles. Outre cette remarque, il se dégage du tableau précédent le fait suivant, qui est le plus intéressant : c'est qu'en renversant le courant, tandis que le Fe, le Cu, le Sn, le Ni, le Zn et le C ne présentent aucun changement, quant à la longueur de l'étincelle de rupture, le Pb, le Pt l'Al, donnent

| COURANT en ampères | LONGUEUR DE L'ÉTINCELLE EN CENTIMÈTRES | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Bi | Cu | Pt | | C | Sn | Ni | Al | | Zn | Pb | |
| | | | | Electrode fixe positive | Electrode fixe négative | | | | Electrode fixe positive | Electrode fixe négative | | Electrode fixe positive | Electrode fixe négative |
| 1,2 | | 0,2 | 0,15 | | | 0,05 | 0,15 | 0,05 | 0,2 | 0,2 | 0,15 | 0,2 | 0,2 |
| 1,8 | 0,15 | 0,6 | 0,30 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,38 | 0,30 | 0,4 | 0,4 | 0,30 | 0,5 | 0,5 |
| 2,4 | 0,38 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 0,62 | 1,4 | 0,70 | 0,31 | 0,31 | 0,40 | 0,94 | 0,90 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 1,4 | 1,4 |
| 6 | 2,25 | 2,5 | 1,9 | 1,25 | 1,4 | 1,7 | 2,7 | 2,5 | 1,9 | 1,9 | 2,25 | 2,8 | 2,9 |
| 9 | 3,75 | 3.5 | 2,9 | 2,25 | 2,5 | 3,4 | 4 | 4 | 3,1 | 3,1 | 3,4 | 3,75 | 4,4 |
| 12 | 5,13 | 4 | 4 | 3,25 | 3,7 | 5,3 | 5,2 | 5,4 | 4,35 | 4,5 | 4.4 | 4,7 | 5,4 |
| 15 | 6,26 | 4,6 | 5 | 4,37 | 5 | 7,2 | 6,6 | 6,5 | 5,6 | 6,0 | 5,4 | 5,5 | 6,5 |

des étincelles plus longues avec des courants

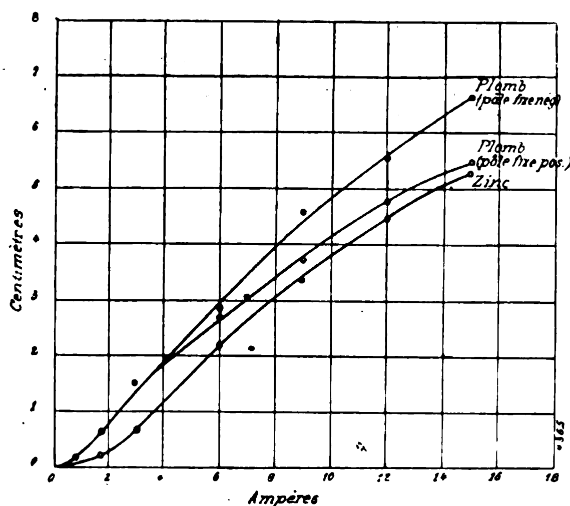



Fig. 5.

intenses quand l'électrode fixe est négative que quand elle est positive.

Eugène Néculcéa.

***Différences de potentiel limites dans les décharges électriques à travers l'air sous la pression ordinaire***, par **Max Toepler.** *Drude's Annalen*, t. VII, p. 477-494, mars 1902.

Les décharges se produisent entre une boule et une plaque : elles sont dites positives quand la boule forme l'anode, négatives si la boule forme la cathode.

On évalue les différences de potentiel au moyen d'un exploseur placé en dérivation.

Les différences de potentiel limites sont celles pour lesquelles la décharge change de nature [1].

L'ensemble des expériences peut se représenter par un certain nombre de formules empiriques :

Pour la décharge positive, $d$ étant le diamètre de l'anode, $f$ la distance des deux électrodes, on a :

Différence initiale :

$$A_{f=\infty} = 300\, d \left[96 + \frac{64}{\sqrt{d}}\right] \text{volts}.$$

ou en général :

$$A = \varphi\left(\frac{f}{d}\right) d \left(96 + \frac{64}{\sqrt{d}}\right)$$

$\varphi$ étant une fonction du rapport $\frac{f}{d}$ seulement.

Différence limite des lueurs positives :

$$B = 120\,000 \frac{f}{f+9} \text{ (anode en pointe mousse)}$$

$$B = 180\,000 \frac{f}{f+9} \text{ (anode de 0,5 cm de diamètre)}$$

$$B = 190\,000 \frac{f}{f+9} \text{ (... de 1,0 cm)}$$

Différence limite des aigrettes :

$$C = 450\,000 \log\left(\frac{f}{30} + 1\right)$$

Pour la décharge négative, les différences initiales sont les mêmes que pour la décharge positive.

Différence limite de la décharge striée :

$$B' = 17\,000 f (1 - 0{,}08\, d).$$

M. L.

---

[1] *Décharges positives*. — Quand le diamètre de l'anode dépasse 1,5 cm, la décharge par lueurs ne se produit pas. La décharge striée (formée d'un grand nombre d'aigrettes courtes, filiformes), se produit sous une différence de potentiel qui est plus petite que la différence de potentiel limite correspondant aux lueurs. Cette limite dépend peu du diamètre de l'anode, mais devient plus petite quand la variation de potentiel est très rapide.

La différence de potentiel limite de la décharge par aigrettes est à peu près la même que l'électricité soit amenée aux électrodes d'une manière continue ou par à-coup. Elle varie peu avec la capacité des électrodes et avec le diamètre de l'anode.

*Décharges négatives*. — L'aigrette négative ne se produit pas d'une manière stable sur les électrodes sphériques.

La décharge striée n'est possible que sous une différence de potentiel supérieure à la différence initiale sous laquelle la décharge commence.

Dans le cas de la décharge positive, la différence de potentiel correspondant à l'étincelle se confond avec la différence initiale quand l'intervalle explosif est petit ; avec la différence limite des aigrettes, quand l'intervalle explosif est grand. Si on représente par une courbe la variation de la différence de potentiel explosive en fonction de la distance explosive, la courbe présente un point anguleux, quelque soit le diamètre de l anode, là où la différence devient égale à la différence limite des aigrettes La distance explosive correspondante est égale à environ cinq fois le diamètre de l'anode,

Dans la décharge négative, la courbe des différences présente aussi un point anguleux là où la différence explosive devient égale à la différence limite de la décharge striée, quel que soit le diamètre de la cathode.

---

*Le Gérant* ; C. NAUD.

Tome XXXI. Samedi 14 Juin 1902. 9e Année. — N° 24.


# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE




## SUR L'ÉLIMINATION DES HARMONIQUES DANS LES ALTERNATEURS

On a proposé à plusieurs reprises, pour éliminer les harmoniques supérieures des courbes périodiques de tension des alternateurs, les mêmes procédés que ceux préconisés dans les dynamos à courant continu pour rendre plus sinusoïdale la répartition de la tension entre deux balais de noms contraires.

L'un de ces procédés, le plus ancien, indiqué autrefois par Atkinson [1] à propos de la discussion d'un mémoire d'Esson, consiste à donner au fil d'induit une certaine inclinaison par rapport à l'axe de la machine; il a été appliqué aux appareils à courants alternatifs par MM. Blathy et de Kando (Ganz) [2] pour les moteurs asynchrones et par la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques [3] pour les alternateurs.

Un second procédé, celui proposé par M. S.-W. Brown [4] pour le courant continu, consiste à partager chaque conducteur en deux parties placées dans des conditions différentes par rapport aux inducteurs ou, autrement dit, à disposer ces deux parties de chaque conducteur sur deux induits distincts, légèrement décalés l'un par rapport à l'autre. Ce dispositif est évidemment susceptible d'être appliqué aux alternateurs et peut donner des résultats analogues au premier, quoique un peu moins bons comme nous allons le démontrer.

(1) Voir *La Lumière Électrique*, t. XXXVIII, p. 127.

(2) Voir notre article « Machines dynamo-électriques » *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 249, 6 nov. 1897.

(3) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 250, 17 août 1901.

(4) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 131, 16 octobre 1897 et t. XIV, p. 365, 26 février 1898.

Considérons un induit d'alternateur dont les rainures sont dans le sens parallèle à l'axe et soit E, sous forme de série de Fourier, la tension induite :

$$E = A_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi_1\right) + A_2 \cos\left(2 . \frac{2\pi t}{T} - \varphi_2\right) + \ldots + A_m \cos\left(m \frac{2\pi t}{T} - \varphi_m\right) + \ldots\ldots$$

ou plus simplement

$$E = \Sigma A_m \cos\left(m \frac{2\pi t}{T} - \varphi_m\right).$$

Supposons qu'on incline la direction des dents par rapport à l'axe d'un angle tel que l'une des extrémités restant fixe, l'autre soit déplacée d'une certaine fraction de demi-période $\alpha$.

La tension induite dans un élément infiniment petit $dl$ de longueur d'induit en un point quelconque du conducteur, ou plus exactement par le point de l'enroulement situé dans un certain plan perpendiculaire à l'axe, sera évidemment, L étant la largeur de l'induit,

$$d E_1 = \frac{dl}{L} \Sigma A_m \cos\left[m \frac{2\pi}{T}(t + t_1) - \varphi_m\right].$$

Mais on a :

$$\frac{t_1}{\alpha \frac{T}{2}} = \frac{l}{L} \qquad \text{d'où} \qquad \frac{dl}{L} = \frac{dt_1}{\alpha \frac{T}{2}}.$$

L'expression de $dE_1$ est donc

$$d E_1 = \frac{2}{\alpha T} \Sigma A_m \cos\left[m \frac{2\pi}{T}(t + t_1) - \varphi_m\right] dt_1.$$

La valeur de $E_1$ s'obtiendra en intégrant cette expression entre o et $\alpha \frac{T}{2}$, d'où :

$$E_1 = \frac{2}{\alpha T} \int_0^{\frac{\alpha T}{2}} \Sigma A_m \cos\left[m \frac{2\pi}{T}(t + t_1) - \varphi_m\right] dt_1.$$

$$= \frac{1}{\alpha \pi m} \Sigma A_m \left[\sin\left(m \frac{2\pi t}{T} + m\alpha\pi - \varphi_m\right) - \sin\left(m \frac{2\pi t}{T} - \varphi_m\right)\right]$$

$$= \frac{2}{\alpha \pi m} \Sigma A_m \cos\left(m \frac{2\pi t}{T} - \varphi_m + \frac{m\alpha\pi}{2}\right) \sin \frac{m\alpha\pi}{2}$$

On voit donc que d'une façon générale l'amplitude maxima de l'harmonique d'ordre $m$ qui était $A_m$ est devenue égale à

$$A'_m = A_m \frac{2}{m\alpha\pi} \sin \frac{m\alpha\pi}{2}$$

$$= A_m . \frac{\sin \frac{m\alpha\pi}{2}}{\frac{m\alpha\pi}{2}}$$

Cette expression montre que les amplitudes de toutes les harmoniques sont diminuées dans un rapport qui varie depuis une certaine quantité voisine ou plus petite que l'unité jusqu'à o au fur et à mesure que l'ordre $m$ augmente.

La forme de $\frac{A'_m}{A_m}$ met en lumière en outre un point qui n'a pas été encore signalé à notre

connaissance, c'est que l'on peut choisir la valeur $\alpha$ de façon à annuler complètement une des harmoniques ainsi du reste que toutes les autres harmoniques multiples de celle-ci.

Pour annuler le coefficient $A_p$, il suffit de prendre

$$\frac{p\alpha}{2} = 1 \qquad \text{ou} \qquad p\alpha = 2.$$

Portons cette valeur de $\alpha$ dans l'expression de $A'_m$, nous aurons :

$$A'_m = A_m \frac{\sin \frac{m\pi}{p}}{\frac{m\pi}{p}}$$

Ainsi donc, tant que $m$ est plus petit que $p$, les amplitudes des harmoniques décroissent de $\frac{\sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}}$, c'est-à-dire d'une quantité voisine de l'unité jusqu'à zéro. Au-dessus de l'ordre $p$, les harmoniques peuvent être groupées encore en série de termes décroissants depuis des quantités de plus en plus petites jusqu'à zéro.

Passons maintenant au second procédé indiqué et supposons que l'induit soit séparé en deux parties seulement, bien qu'on puisse concevoir une division en un plus grand nombre de parties, comme cela se passait pour les induits multiples en anneaux des vieilles machines de Burgin [1].

Le décalage évalué toujours en fraction de demi-période étant $\alpha'$, la tension induite sera évidemment dans ce cas

$$E_1 = \frac{1}{2} \Sigma A_m \left[ \cos \left( m \frac{2\pi t}{T} - \varphi_m \right) + \cos \left( m \frac{2\pi t}{T} + m\alpha' - \varphi_m \right) \right]$$
$$= \Sigma A_m \cos \left( m \frac{2\pi t}{T} + \frac{m\alpha'\pi}{2} - \varphi_m \right) \cos \frac{m\alpha'\pi}{2}$$

L'amplitude maxima de l'harmonique d'ordre $m$ est donc maintenant égale à

$$A'_m = A_m \cos \frac{m\alpha'\pi}{2}$$

Les harmoniques sont donc encore réduites dans ce cas, sauf celles pour lesquelles la quantité $\frac{m\alpha'}{2}$ est entière, qui subsistent intégralement. Ces harmoniques vont par série de termes décroissants, mais les valeurs de départ du rapport $\frac{A'_m}{A_m}$ restent ici les mêmes pour chaque tête de série.

Comme dans le cas précédent, on peut choisir la valeur du décalage $\alpha'$ de façon à annuler l'une des harmoniques.

L'annulation de l'harmonique d'ordre $p$ s'obtiendra en prenant

$$p\alpha' = 1 \qquad \text{ou} \qquad \alpha' = \frac{1}{p}$$

---

[1] Voir le *Traité des Machines dynamo-électriques* de S.-P. Thomson, traduction française de E. Boistel, première édition, p. 116.

et cette annulation entraînera comme plus haut celle de toutes les harmoniques multiples de $p$.

Portons cette valeur de $p$ dans l'expression de $A'_m$, il vient :

$$A'_m = A_m \cos \frac{m}{p} \frac{\pi}{2}$$

Cette expression montre que, pour les harmoniques inférieures à $p$, la réduction de leur amplitude maxima est encore d'autant plus grande que l'ordre est plus élevé. Au-dessus de l'ordre $p$, les termes sont groupables par série de termes décroissants, mais partant tous d'un terme non réduit.

Proposons-nous de comparer les deux procédés que nous venons d'étudier dans le cas où l'on profite de l'indétermination de $\alpha$ et $\alpha'$ de façon à annuler l'harmonique de rang $p$.

Pour voir nettement l'effet relatif de chaque méthode, il suffit évidemment de faire le rapport des amplitudes maxima pour une harmonique de même ordre, à condition toutefois que cette harmonique ne soit pas une de celles qui ont été annulées. On obtient ainsi pour la valeur $k$ du rapport des amplitudes pour le premier et le second cas :

$$k = \frac{\sin \frac{m\pi}{p}}{m \frac{\pi}{p} \cos \frac{m}{p} \frac{\pi}{2}} = \frac{\sin \frac{m}{p} \cdot \frac{\pi}{2}}{\frac{m}{p} \cdot \frac{\pi}{2}}.$$

L'effet du décalage des induits est donc, en général, moins bon que celui de l'inclinaison des encoches (ou des arêtes des pièces polaires) et la différence est d'autant plus grande que l'harmonique supprimée est d'ordre moins élevé.

On peut mettre facilement en évidence une propriété intéressante de l'inclinaison des rainures sur l'axe de la machine.

Supposons que l'on ferme le circuit de l'alternateur considéré sur un circuit composé uniquement d'une capacité C et calculons l'intensité du courant qui traverse le circuit en admettant que la résistance intérieure de la machine soit négligeable. L'intensité du courant a pour expression

$$I = \Sigma A_m \frac{\sin \frac{m\pi}{p}}{\frac{m\pi}{p}} m \frac{2\pi}{T} C \cos \left( m \frac{2\pi t}{T} + \frac{m\pi}{p} - \varphi_m \right)$$

Le coefficient d'ordre $m$ est par suite

$$A_m p C \frac{2}{T} \sin \frac{m\pi}{p}$$

On voit que l'ordre $m$ n'intervient plus que sous le signe sinus, de sorte que l'amplitude des harmoniques ne se trouve plus amplifiée proportionnellement à l'ordre, comme cela se passerait si les rainures n'étaient pas inclinées.

Cette propriété ne se retrouve pas dans le second procédé que nous avons indiqué.

Quoiqu'il en soit, ce second procédé d'une application très facile, particulièrement avec les machines à double induit, peut, dans beaucoup de cas, donner d'excellents résultats et permet toujours de faire disparaître une harmonique gênante.

C.-F. GUILBERT.

# AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES

## INDÉPENDANTS DE L'INTENSITÉ DE LEUR AIMANT PERMANENT (1)

Les instruments de mesures électriques dans lesquels on utilise l'action des courants sur les aimants sont sujets à se dérégler par les variations accidentelles de leurs aimants (2).

Mais il résulte de l'affaiblissement de l'aimant, soit un accroissement, soit une diminution de la sensibilité, suivant le rôle qui lui est attribué. Quand l'aimant fournit le couple antagoniste en agissant comme aimant directeur sur un équipage magnétique mobile, la sensibilité augmente quand l'aimant s'affaiblit. Elle diminue, au contraire, dans les instruments à courant mobile dans lesquels l'aimant fournit le couple déviant.

On peut combattre ces défauts contraires l'un par l'autre, en empruntant le couple antagoniste et le couple déviant tous deux au même aimant.

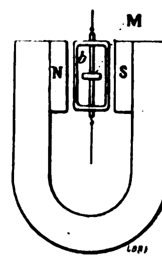


Fig. 1.

Imaginons, en effet, un galvanomètre Desprez-d'Arsonval dans lequel les fils amenant le courant au cadre mobile *b* (fig. 1) sont dépourvus de rigidité et dont l'équipage mobile porte une petite palette M de fer doux qui se meut solidairement avec lui et que l'aimant NS tend à maintenir dans la direction de son champ. On voit facilement que, pour que la déviation produite par un courant donné parcourant le cadre mobile soit indépendante du champ de l'aimant, il suffit que le moment magnétique de M soit constant, condition que l'on réalise approximativement en disposant les choses de façon que M soit sensiblement aimanté à saturation.

En réalité, il n'est pas nécessaire de chercher à satisfaire avec une grande approximation aux deux conditions extrêmes que nous venons de poser : conducteurs infiniment souples et saturation magnétique de la pièce M ; il suffit de remarquer qu'une petite force antagoniste élastique peut *compenser* l'effet de l'imparfaite saturation. Une discussion un peu plus détaillée montre, en effet, facilement que le courant nécessaire pour produire une déviation donnée $\alpha$, dans un instrument pourvu à la fois de force antagoniste magnétique et de force antagoniste élastique, passe, en général, par un minimum et par un maximum quand le champ varie. Il y a donc deux valeurs du champ pour lesquelles une petite variation de l'aimant permanent ne conduit à aucune variation de la sensibilité. En proportionnant convenablement le couple antagoniste magnétique et élastique, on fait coïncider l'une de ces valeurs avec le champ de l'aimant qu'on se propose d'employer. On peut même le faire coïncider avec le maximum et le minimum confondus en un point d'inflexion et obtenir ainsi une sensibilité indépendante du champ dans un grand intervalle. Et effectivement, dans des expériences faites avec un électro-aimant, le champ variant de 1 000 gauss à 2 000 gauss, on a pu réduire les variations de la sensibilité à $\frac{1}{600}$ de part et d'autre de la valeur moyenne.

Jusqu'à présent nous avons supposé implicitement que les déviations de l'équipage

(1) Extrait d'une communication faite le 9 avril à la Société internationale des Electriciens. Ces instruments sont construits par la maison Japy frères et Cie, de Beaucourt.

(2) L'institut physicotechnique allemand, tout en reconnaissant l'exactitude souvent suffisante de ces instruments, a dû renoncer à délivrer des certificats pour les appareils à aimants permanents, à cause de la variabilité inhérente à cet organe. (*Elektrotechnische Zeitschrift*, 1897).

étaient très petites. Et effectivement, j'ai construit pour l'usage du laboratoire un ampère-étalon à miroir fondé sur ce principe et n'utilisant que de petites déviations, dans lequel des mesures espacées d'une année et faites à $\frac{1}{1000}$ près n'ont décelé aucune variation.

Mais, pour les besoins courants, il est indispensable de se servir d'instruments à aiguille et d'avoir recours à de grandes déviations. Il faut alors tenir compte de ce que le couple antagoniste magnétique et le couple antagoniste élastique ne dépendent pas de l'angle de déviation suivant la même loi. La loi du couple magnétique, en particulier, varie avec la forme des surfaces polaires, l'intensité de l'aimant permanent et la nature et la forme de la pièce compensatrice M.

Aussi est-il nécessaire, avant d'aller plus loin dans la description des propriétés, de spécifier le genre de construction auquel elle se rapporte. Dans la forme d'exécution

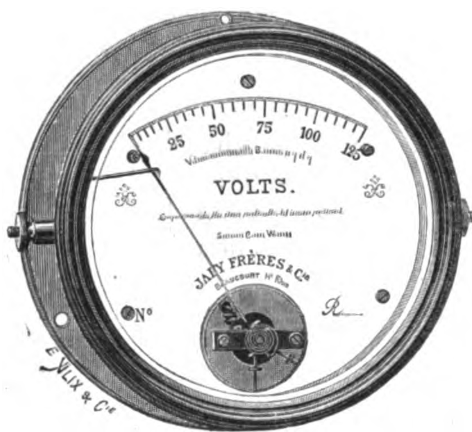



Fig. 2.

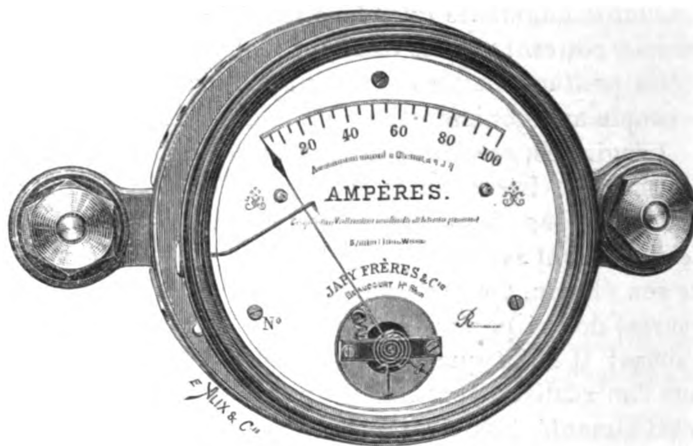



Fig. 3.

adoptée par MM. Japy frères et Cie l'aimant est formé d'une seule barre d'acier magnétique de section rectangulaire, recourbée sur elle-même en forme de tore et présentant un seul entrefer à surfaces polaires parallèles, exactement alésées à la meule. Dans cet entrefer se meut une bobine d'aluminium portant les enroulements dans des rainures fraisées et en son centre le fer compensateur sous forme d'un fil fin de 45 mm de longueur, enroulé sur une petite lame de laiton. Le courant est amené par des spiraux très souples et de faible résistance, formés de lames d'argent très minces. L'aspect extérieur de ces instruments est représenté dans les figures 2 et 3.

Dans un instrument de ce type, le champ a été porté successivement à 500 gauss et à 600 gauss, et l'on a déterminé, pour ces deux intensités, le courant nécessaire pour produire les déviations de 10 degrés en 10 degrés :

| | COURANT PRODUISANT UNE DÉVIATION α. | |
|---|---|---|
| α. | H = 500 gauss. | H = 600 gauss. |
| — 10° | — 48,4 | — 47,6 |
| 0° | 0 | 0 |
| 10° | 37,1 | 37,3 |
| 20° | 67,6 | 67,7 |
| 30° | 94,2 | 94,2 |
| 40° | 119,4 | 119,2 |
| 50° | 145,6 | 145,6 |
| 60° | 173,2 | 173,0 |
| 70° | 199,5 | 199,2 |

Les différences entre les courants produisant une déviation donnée, lorsque le champ de l'aimant prend les valeurs de 500 et de 600 gauss, sont donc tout à fait minimes, et à peine supérieures aux erreurs de lecture. Cette constance de la sensibilité persiste d'ailleurs dans tout l'intervalle entre les deux champs.

L'expérience montre donc que la compensation persiste jusqu'à des déviations de 70°. Néanmoins, dans la pratique, on s'est arrêté à 60° parce que la graduation, extrêmement régulière jusqu'à cette valeur, l'est moins entre 60° et 70°. En outre, pour toutes les déviations inférieures à 60°, il n'y a pas de différence sensible entre la position de l'aiguille pour des valeurs ascendantes et descendantes du courant, tandis que de légères erreurs d'hystérésis commenceraient à apparaître si l'on admettait des déviations atteignant 70°.

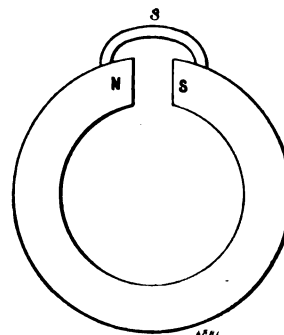


Fig. 4.

Les aimants, récemment aimantés, ont un champ compris entre 700 et 800 gauss. On commence par les affaiblir à 600 gauss ; l'aimantation qui reste est alors très stable si l'acier est bon, ce dont on s'assure pour chaque aimant (1).

En réservant une marge de 100 gauss sur 600, c'est-à-dire environ 17 p. 100, pour l'affaiblissement accidentel, on dépasse de beaucoup les risques vraisemblables.

On peut s'assurer facilement que chaque instrument possède bien l'indépendance du champ dans ces limites en appliquant contre l'aimant NS un shunt magnétique *s* (fig. 4) dont la section a été prise de manière à produire précisément un affaiblissement du champ de 100 gauss. Et, en effet, dans un instrument présenté à la Société internationale des Électriciens, on pouvait à volonté mettre et retirer le shunt sans constater aucun changement dans la valeur des indications.

Quelques autres propriétés des instruments que nous venons de décrire se rattachent à leur propriété fondamentale. Le décentrage de l'équipage mobile par rapport à l'entrefer peut être envisagé comme une variation accidentelle du champ, d'allure un peu irrégulière. L'expérience a montré que son influence est minime : 0,7 p. 100 au plus pour un déplacement inférieur ou égal à 2,4 mm et à peu près le même dans toute l'étendue de l'échelle, circonstance extrêmement favorable à la construction de séries d'instruments possédant des graduations identiques.

Le rôle tout à fait subordonné que l'on est amené à donner au couple antagoniste élastique met ces instruments à l'abri des inconvénients habituels des ressorts spiraux : variations de la sensibilité et déplacements du zéro. Dans l'exemple mentionné ci-dessus, le couple antagoniste total est dix fois le couple antagoniste élastique au commencement de l'échelle, et 6,8 fois, quand la déviation atteint 60 degrés.

Les variations de température peuvent affecter l'aimant permanent. Cet effet est inoffensif. Elles peuvent aussi modifier le moment magnétique de la pièce M. Mais il résulte des expériences de M. P. Curie qu'aux températures ordinaires l'intensité d'aimantation *à saturation* du fer doux varie extrêmement peu avec la température. Et, de fait, une variation de température de 24° n'a permis de mettre en évidence avec certitude aucune variation de la sensibilité, alors qu'une variation de un millième eût été observable. En tant qu'ampèremètre, ces instruments compensés ont donc un coefficient de température

---

(1) Pour le contrôle de la qualité et de l'état d'aimantation des aimants, la balance de M. Cotton m'a rendu d'excellents services. Cet appareil a été décrit dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 257.

***

nul. En tant que voltmètres ils dépendent, à la manière habituelle, de la résistance des conducteurs employés.

Il résulte de l'insensibilité relative de ce système aux petites erreurs de montage qu'il est très facile d'obtenir des instruments dont la loi de déviation est identique. On peut, par suite, tirer les cadrans à la presse et éviter les ennuis et les risques de la graduation individuelle de chaque appareil.

Une seule donnée a une influence prépondérante sur la loi de la graduation, c'est l'angle de calage du fer compensateur par rapport aux spires de la bobine. Cette circonstance une fois reconnue, il est facile de prendre les précautions nécessaires pour que cet angle ait la valeur requise. On arrive ainsi couramment, pour un voltmètre de 125 volts, réglé à 110 volts, à n'avoir en aucun point de l'échelle une erreur supérieure à 0,3 ou 0,4 volts.

Nous n'entrerons pas ici dans plus de détails techniques sur l'adaptation du système que nous venons de décrire aux *voltmètres* et *ampèremètres*. Nous dirons seulement que les précautions habituelles ont été prises pour assurer l'amortissement, une indépendance suffisante de la température et une faible consommation d'énergie. Dans leur forme d'exécution actuelle ces instruments comblent certainement une lacune parmi ceux qui existaient jusqu'à présent, en donnant, eu égard à leur construction simple, robuste et économique, une précision élevée jointe à une sécurité absolue.

Pierre Weiss,
Professeur à l'École polytechnique de Zürich.

# L'EXPOSITION DE DÜSSELDORF

Le 1er mai a été inaugurée à Düsseldorf l'Exposition de l'Industrie et des Arts et Métiers de la province Rhénane, de la Westphalie et des districts adjacents, en même temps qu'une exposition nationale allemande des Beaux-Arts.

Nous avons déjà donné sur cette exposition les renseignements nécessaires pour comprendre son but et la classification des objets exposés (1).

Aujourd'hui nous nous proposons d'en donner une idée générale concernant tout ce qui peut intéresser des ingénieurs et principalement des électriciens.

L'emplacement de l'Exposition a une superficie d'environ 55 hectares. Ce terrain, admirablement situé et pour ainsi dire dans la ville même, est limité d'un côté, sur une longueur de 2,1 km, par le Rhin et de l'autre, par le port « Hofgarten » dont une grande partie y est annexée. Au sud, le superbe pont du Rhin, jeté en deux arches sur le fleuve, forme un fond architectural. Le terrain est trois fois aussi grand qu'à l'Exposition de 1880. Environ 18 hectares sont couverts, chiffre supérieur à toutes les expositions dernières, excepté toutefois l'Exposition universelle de Paris en 1900. Le tableau suivant met en évidence l'importance relative de quelques expositions récentes.

| Exposition de | Surface totale | Surface couverte |
|---|---|---|
| Berlin en 1896 | 1 100 000 m² | 74 934 m² |
| Nüremberg en 1896 | 204 000 » | 44 600 » |
| Leipzig en 1897 | 400 000 » | 60 000 » |
| Paris en 1900 | 2 227 946 » | 650 000 » |
| Glasgow en 1901 | 290 000 » | |
| Düsseldorf en 1902 | 550 000 » | 180 000 » |

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. XLVI, 25 janvier 1902, t. XXI, p. II, 5 avril 1902.

Le plan général (fig. 1) donne la répartition des bâtiments et la distribution des groupes. Il y a environ 170 constructions, pavillons, etc., qui représentent une valeur de 12 millions de marks.

L'Exposition n'est pas bâtie dans un style déterminé, mais on a laissé à chacun des exposants toute latitude pour construire son propre bâtiment.

Les plus grands édifices, bâtis par l'Administration de l'Exposition, sont : le Palais des Machines (fig. 1, n$^{os}$ 83-91) et le Grand Palais de l'Industrie (fig. 1, n° 99 et fig. 2). Le premier est celui qui présente le plus grand intérêt. Le palais des machines, construit par l'usine « Hein Lehmann et C°, Düsseldorf » complètement en fer, en pierre et en verre, a 280 m de long et 51,9 m de large. Il couvre une surface de 20 000 m², en y comprenant l'annexe qui abrite les chaudières à vapeur, les pompes alimentaires, les appareils de condensation et leurs réfrigérants. Ce palais se compose de trois longs halls, c'est-à-dire d'une nef centrale et de deux nefs latérales.

La construction de ces trois nefs est très pratique ; elles sont absolument indépendantes de sorte que chacune peut recevoir une destination particulière après la fermeture de l'Exposition.

La façade du palais est en harmonie avec l'art architectural.

Le Palais des machines comprend la station centrale d'électricité, (fig. 3) destinée à fournir l'énergie électrique aux divers services de l'Exposition (fig. 4). Dans cette station sont installés 27 moteurs à vapeur et 29 dynamos d'une puissance totale de 13 891 chevaux-vapeur indiqués ou 10 096 kilowatts. En outre, il y a deux groupes électrogènes, capables de fournir 250 chevaux, installés dans un autre bâtiment.

Au point de vue de la nature des courants produits, on a la répartition suivante :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Courant continu | 24 | groupes fournissant | 3 696 | kilowatts |
| Courants alternatifs simples | 1 | » | 500 | » |
| Courants triphasés | 6 | » | 5 900 | » |

Détail remarquable, il n'y a que cinq constructeurs de machines électriques dont les groupes électrogènes soient affectés aux services de l'exposition, à savoir :

Société d'électricité W. Lahmeyer et C^ie^, Francfort-sur-le-Mein ;
Société d'électricité Helios, Cologne ;
Usine d'électricité Garbe, Lahmeyer et C^ie^, Aix-la-Chapelle ;
Ateliers de construction de machines Max Schorch et C^ie^, Rheydt ;
Usine d'électricité Ernst Heinrich Geist, Cologne.

C'est surtout la Société W. Lahmeyer et C^ie^, de Francfort-sur-le-Mein, qui se distingue par sa belle exposition, car elle participe à la production de l'énergie électrique par 17 dynamos. Le tableau indique les noms des constructeurs, le nombre des machines fournies par chacun d'eux, le type des machines et leur puissance.

D'après ce tableau, les cinq constructeurs produisent ensemble 10 096 kilowatts, soit 2 200 kilowatts par exposant, moyenne supérieure à celle de l'Exposition universelle de 1900. Nous résumons ci-dessous les données comparatives relatives aux deux Expositions :

| Production de l'énergie électrique | Paris 1900 | Düsseldorf 1902 |
|---|---|---|
| Nombre de dynamos | 43 | 31 |
| Puissance en kilowatts | 20 245 | 10 096 |
| Nombre des exposants | 29 | 5 |
| Production par chaque exposant en moyenne | 700 kw | 2 200 kw |
| La plus grande puissance fournie par un exposant | 2 200 » | 5 967 » |

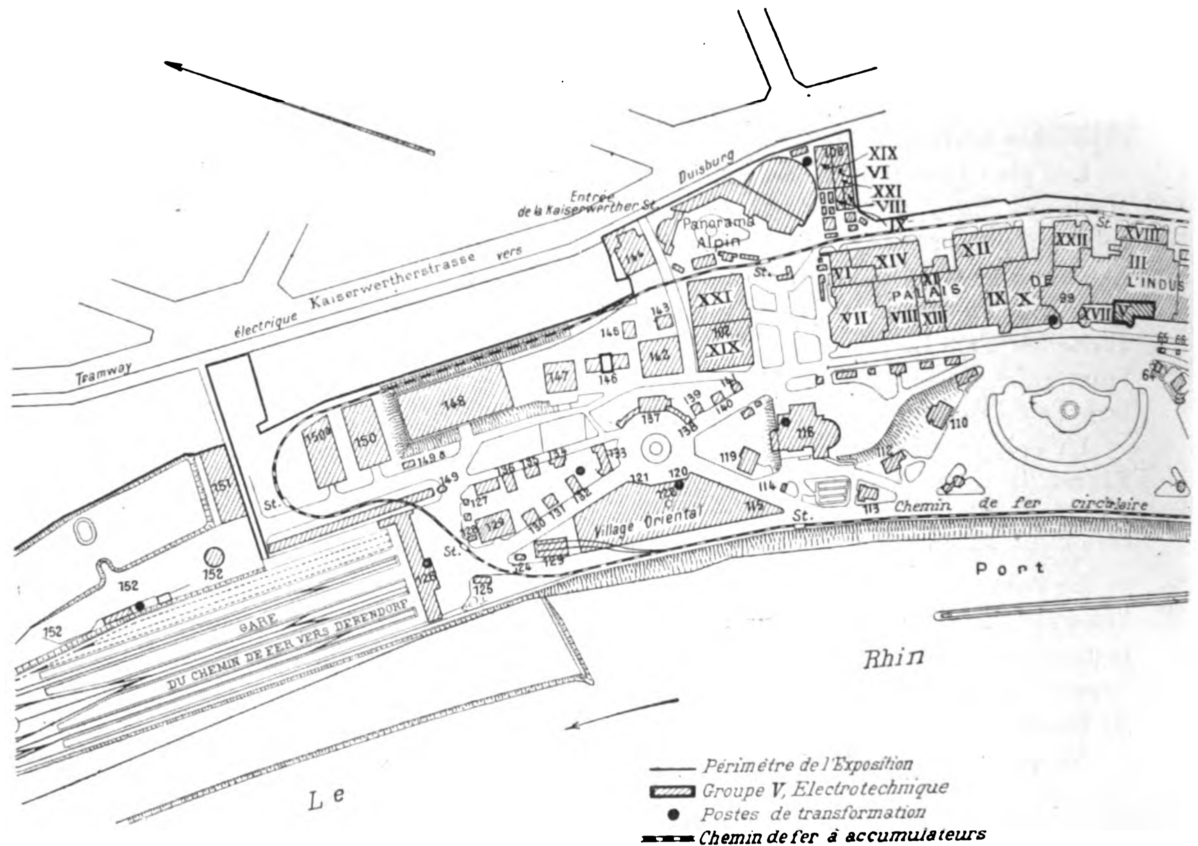
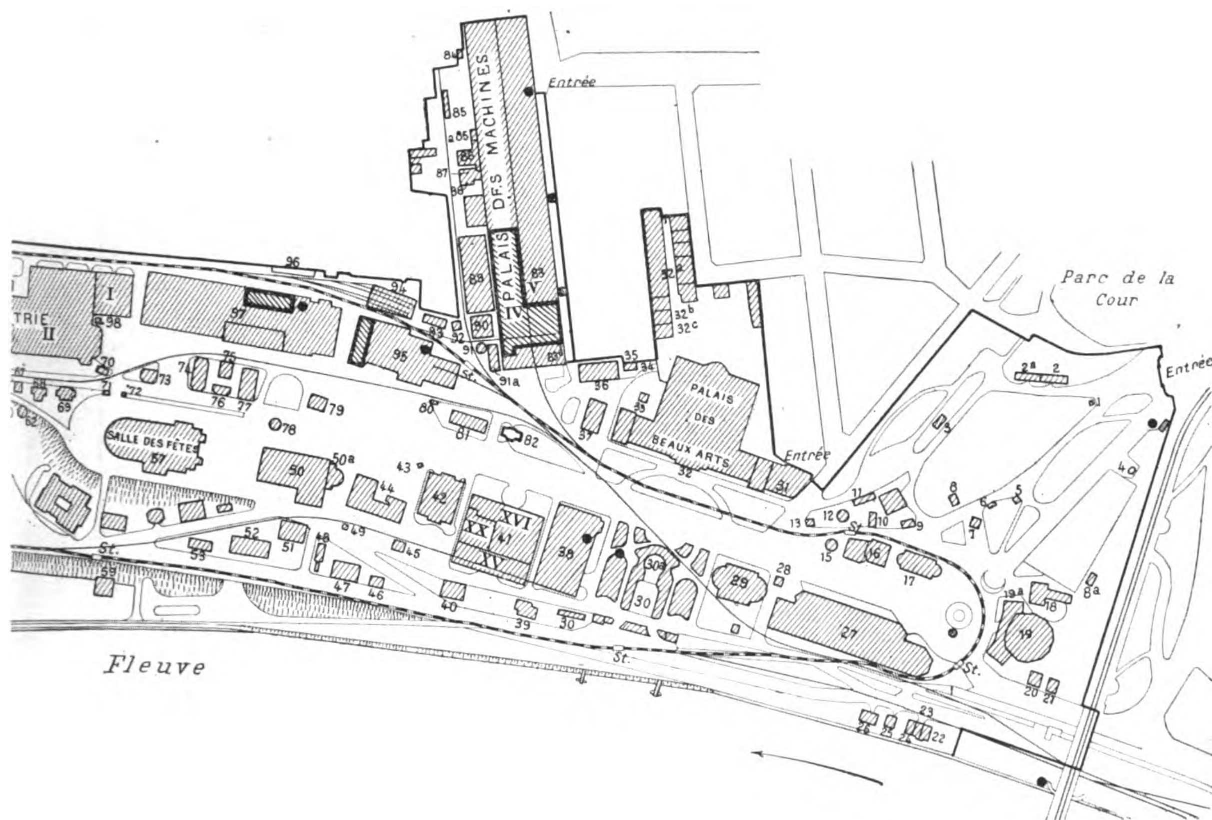



Fig. 1. — Plan général de

1. Société d'éclairage Washington (Elberfeld). — 2. Serre chaude Jos. Hesseler (Cologne). — 2a Serre chaude Rubruck (Cologne). — 3. Machines agricoles de Jos. Meys et Cie (Honnef-sur-Sieg). — 4. Etoffes imperméables Dr de Weldige et Wanders (Bonn). — 5. Carrelages en céramique de Lamberty, Servais et Cie (Ehrang, près Trèves). — 6. Société des briqueteries et argiles de Düsseldorf. — 7. Céramique et verreries de Villeroy et Boch (Mettlach). — 8. Carrelages en céramique de Wessels et Cie (Bonn). — 9. Fabrique de machines Schreben et Krüdewig (Honnef-sur-Sieg). — 10. Meubles en fer de L. et C. Arnold (Kempen). — 11. Etoffes imperméables de Rommel, Weiss et Cie (Mühlheim-sur-Rhin). — 12. Verreries et glaceries de Schalke (Schalke-Westphalie). — 13. Société de gaz et d'électricité de Cologne. — 14. Eaux gazeuses de John Kierdorf (Dusseldorf). — 15. Usine d'Isselburg-sur-Bas-Rhin. — 16. Restaurant boulangerie Alef (Dusseldorf). — 17. Fabrique de poêles Küpperbusch et fils (Schalke). — 18. Produits de chasse. — 18a. Comptoir de bois Menzel (Dusseldorf). — 19. Panorama (Passage du Rhin par Blücher, près Caub). — 19a. Restaurant et brasserie du panorama. — 20 et 21. Société de construction de baraquements, système Brümmer (Cologne). — 22 à 25. — Société de constructions d'utilité générale de Remscheid (Maisons ouvrières). — 26. Maison ouvrière F. Krupp (Essen). — 27. Pavillon des aciéries F. Krupp (Essen). — 28. Poudreries réunies de Cologne-Rottweil (Cologne). — 29. Usines de Hœrde (hauts fourneaux, aciéries, laminoirs). — 30. Association des fabricants de béton (Biebrach-sur-Rhin). — 30 a. Restaurant de la Société des bétons. — 31. Restaurant du Palais des beaux-arts. — 32. Palais des beaux-arts. — 32a. Cantine de l'Exposition. — 32b. Service des emballages de l'Exposition des Beaux-Arts. — 32c. Service des expéditions de l'Exposition des Beaux-Arts. — 33. Ateliers Aug. Kloenne, constructions métalliques (Dortmund) — 34 à 36. Société des Zingueries de Siegen (Geisweid). — 37. Association des Filateurs du Rhin (Aix-la-Chapelle). — 38. Société de Bochum pour mines et aciers fondus (Bochum). — 39. Brasserie Gust. Holtschmit (Dusseldorf). — 40. Ateliers de constructions Humboldt (Kalk, près Cologne). — 41. Halle d'exposition n° III (supplémentaire). — 42. Société des métaux et de construction de machines du Rhin (Dusseldorf-Derendorf). — 43. Schœnwasser frères, fabricants de cigares (Dusseldorf). — 44. Brasserie de Dortmund. — 45. Tuiles et céramique de Christinenburg-Lintorf. — 46. Chaudières tubulaires Steinmueller (Gummersbach). — 47. Laminoirs et zinguerie de Creuzthal en Westphalie. — 48. — Chaudières tubulaires Dürr et Cie (Dusseldorf-Ratingen). — 49. Zinguerie de Mühlheim H. Geuer et Cie (Mühlheim-sur-Ruhr). — 50. Chambre syndicale des métiers de Dusseldorf. — 50a. Restaurant. — 51. Joh. Klein, viticulteur (Johannisberg). — 52. Laiterie G. H. vom Stein et Cie (Dusseldorf). — 53. Ateliers de construction etfonderies de Borbeck (Berge-Borbeck). — 54. Aciéries et laminoirs de Duisburg. — 55. Ateliers de construction Reuling frères (Mannheim). — 56. Ateliers de construction G. Schiele et Cie (Francfort-Bockenheim). — 57. Halle des fêtes. — 58. Brasserie A. Bodden (Duisburg). — 59. Bâtiment des pompes sur le Rhin. — 60. Café de Malt de la Société Kathrein (Münich). — 61. Champagnes Hoehl frères (Geisenheim). — 62. Carrières de basaltes de Westerwald (Eiserfeld). — 63. J. Hütwohl, viticulteur (Steeg, près Bacharach). — 64. Champagnes Fuchs et Werum (Hochheim-sur-Mein). — 65. Eaux gazeuses J. Kierdorf (Dusseldorf). — 66. Fruiterie Fr. Boehner (Dusseldorf). — 67. Usines métallurgiques de Siegen-Lorraine (Siegen). — 68. J. Kathe (asbestes et lièges), de Cologne-Deutz. — 69. Laminoirs à zinc d'Oberhausen. — 70. Eaux minérales de Roisdorf, W. Custor. — 71. C. Flies, fabricant de cigares (Dusseldorf). — 72. Fruiterie Jac. Klees (Dusseldorf). — 73. Usines métallurgiques Buderus (Wetzlar). — 74. Produits réfractaires et fours à coke Otto et Cie (Dahlhausen-sur-Ruhr). — 75. Maison ouvrière des usines de Gelsenkirchen. — 76. Société minière et métallurgique du Rhin (Duisburg-Hochfeld). — 77. Ateliers de construction de machines Schœfer et Laugen (Crefeld). — 78. Ustensiles en étain J. P. Kayser fils (Crefeld). — 79. Société générale de thermite (Essen).




l'Exposition de Dusseldorf.

— 80. Eaux gazeuses J. Kierdof (Dusseldorf). — 81. Société minière Hibernia (Herne) et Gœhmann-Einhorn (Dortmund). — 82. Usines d'electricité W. Lahmeyer et Cie (Francfort-sur-Mein). — 83. Palais des machines. — 83a. Restaurant du Palais des machines. — 84. Marteaux-pilons, système Banning (Hamm). — 85. Industrie des lignites et transporteurs Pohlig (Cologne). — 85a. Société de l'air comprimé d'Offenbach. — 86. Ateliers de constructions mécaniques Klein frères (Dahlbruch) et Société Œchelhaeuser (Siegen). — 87. Ateliers de constructions mécaniques de Cologne-Bayenthal. — 88. Gazogènes et moteurs Louis Soest et Cie (Dusseldorf-Reisholz). — 89. Chaudières à vapeur. — 90. Condenseurs Balcke et Cie (Bochum). — 91 et 91a. Refroidisseurs pour eaux de condensation, etc. — 92. Evaporateurs E. Schultgen pour cellulose (Iserlohn). — 93. Machines à blanchir à la vapeur Schmidt et Schmitz (Cologne). — 94. Remise des wagons du chemin de fer circulaire électrique. — 95. Pavillon de la Société Gutehoffnungshütte (Oberhausen) et moteurs Otto (Deutz). — 96. Société des Accumulateurs de Hagen. — 97. Association minière du district de Dortmund (Essen). — 98. Usine d'Isselburg et poste des pompes à incendie. — 99. Palais de l'industrie (Halle d'exposition n° I). — 100. Halle d'exposition n° IV (Supplémentaire). — 101. Panorama alpin de Boswau et Knauer (Berlin). — 102. Halle d'exposition n° II) (Supplémentaire). — 103. Cigares Neuman (Berlin), — 104. Usines d'asbeste de Francfort (Niederrad près Francfort-sur-Mein). — 105. Société de céramique d'Œynhausen. — 106. Matériaux de construction A. Siebel (Dusseldorf-Rath). — 107. Plaques de revêtement Buckendahl et Cie (Œynhausen). — 108. Brasserie Fürstenberg (Donaueschingen). — 109. Confiseries C. Weitz (Dusseldorf) et A. Wiese et fils (Cologne). — 110. Restaurant C. Figge (Barmen). — 111. Eaux minérales de Rhens-sur-Rhin. — 112. Ruines du château de Ruedesheim (viticulteurs). — 113. Distillerie H.-W. Schlichte (Steinhagen). — 114. Eaux gazeuses J. Kierdorf (Dusseldorf). — 115. Distilleries Erven-Lucas-Bols (Berlin-Amsterdam). — 116. Restaurant principal des vins. — 117. Fr. Busch, coiffeur (Dusseldorf). — 118. Matériaux de construction C. P. Schunk (Mühlheim-sur-Rhin). — 119. Champagnes Aug. Uflerbaeumer (Herford). — 120. Vins mousseux et cidres Kurt Rauter (Cologne). — 121. Restaurant J. Munker (Dusseldorf). — 122. Village oriental et arabe. — 123. Ateliers de constructions de wagons d'Uerdingen. — 124. Bureau de renseignements officiel de Hugo Stangen. — 125. Fonderies et ateliers de Borbeck (Borbeck). — 126. Bâtiment des voyageurs du Chemin de fer de l'Exposition à Derendorf. — 127. Société de constructions Tillmann (Remscheid). — 128. Société allemande de Chemin de fer Nord-Brabant (Gennep). — 129. Matériel de transport H. Kœttgen et Cie (B. Gladbach). — 130. Ateliers de constructions J. Chr. Breun (section de Dortmund). — 131. Société internationale de sondages (Erkelenz). — 132. Ateliers de constructions W. Fredenhagen (Offenbach). — 133. Maison du Vieux-Trèves (vins de Moselle). — 134. Cafés grillés Ernst Boersken (Dusseldorf). — 135. Cafés grillés H. Jurgens (Dusseldorf). — 136. Fonderies van Gülpen, Lensing et von Gimborn d'Emmerich. — 137. Restaurant automatique Pelzer et Cie (Cologne). — 138. Cigares Samuel (Dusseldorf). — 139. Photographie Noy et Zensen (Müngsten). — 140. Installations hydrauliques de l'Allemagne du Sud (Francfort-sur-Mein). — 141. Société des briqueteries de Neuwied. — 142. Ateliers de construction de Benrath. — 143. Poste de secours. — 144. Cantine de l'exposition. — 145. Construction de signaux Willmann et Cie (Dortmund). — 146. Ateliers de construction J. Losenhausen (Dusseldorf-Grafenberg). — 147. Directions des Chemins de fer royaux de Cologne, Elberfeld et Essen. — 148. Sociétés réunies de construction de wagons et de locomotives (Dusseldorf). — 149. Porteurs aériens J. Pohlig (Cologne). — 149a. Peters, négociant en bois (Dusseldorf). — 150. Société minière et métallurgique de George-Marie (Osnabrück). -- 150a. Matériel de Chemins de fer Arthur Koppel (section de Bochum). — 151-152. Jeux et spectacles nautiques, tir, ballon captif, rivière souterraine, restaurant, etc.

## NOMENCLATURE DES GROUPES ÉLECTROGÈNES

| Numéros d'ordre | Noms des constructeurs : des moteurs à vapeur ou à gaz | Noms des constructeurs : des dynamos | Moteurs à vapeur ou à gaz : Type des machines | Moteurs : Tours par minute | Moteurs : Chevaux indiqués | Dynamos : Nature du courant | Dynamos : Tours par minute | Dynamos : Puissance en kilowatts | Tension en volts | Mode d'entraînement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **I** | | | | | | | |
| 1 | Maschinenbau-Anstalt « Humbold », Kalk-Cologne. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Tandem horizontale | 94 | 500 | alternatif simple | 94 | 500 | 10000 | Accouplement direct |
| 2 | Haniel et Lueg, Düsseldorf. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Compound horizontale | 94 | 1000 | triphasé | 94 | 750 | 2000 | Accouplement direct |
| 3 | Aktien-Gesellschaft Hohenzoilern, Düsseldorf. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Tandem horizontale | 94 | 1000 | triphasé et continu | 94 | 500 et 300 | 5000 et 600 | Accouplement direct |
| 4 | Gutehoffnungsh Hütte, Oberhausen. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Vertical à trois cylindres | 94 | 3000 | triphasé | 94 | 2000 | 5000 | Accouplement direct |
| 5 | Robert Spies, Barmen. | Max Schorch et Cie, Rheydt. | Compound verticale | 140 | 500 | triphasé | 140 | 350 | 5000 | Accouplement direct |
| 6 | Maschinenfabrik Grevenbroich. | E. A. G. Helios, Cologne. | Tandem jumelée horizontale | 72 | 2000 | triphasé | 72 | 2000 | 2000 | Accouplement direct |
| 7 | Sundwiger Eisenhütte, Sundwig | Garbe, Lahmeyer et Cie, Aix-la-Chapelle. | Tandem horizontale | 125 | 500 | triphasé | 125 | 300 | 2000 | Accouplement direct |
| 8 | Sundwiger Eisenhütte, Sundwig. | Garbe, Lahmeyer et Cie, Aix-la-Chapelle. | Compound verticale | 125 | 200 | continu | 125 | 138 | 220 | Accouplement direct |
| | | | **II** | | | | | | | |
| 9 | Schüchtermann et Kremer, Dortmund. | Garbe, Lahmeyer et Cie, Aix-la-Chapelle. | Tandem horizontale | 100 | 300 | continu | 517 | 210 | 110 | Accouplement direct |
| 10 | Fr. Spies et Söhne, Barmen. | Garbe, Lahmeyer et Cie, Aix-la-Chapelle. | Tandem horizontale | 100 | 180 | continu | 100 | 95 | 110 | Transmission par câbles |
| 11 | Maschinenbau-Anstalt Humboldt, Kalk-Cologne. | Garbe, Lahmeyer et Cie, Aix-la-Chapelle. | Turbine à vapeur | 13500 | 100 | continu deux armatures | | 33<br>33 | 110<br>110 | Accouplement direct |
| 12 | Dingler'sche Maschinenfabrik, Zweibrücken. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Machine à vapeur à cylindre unique horizontale | 225 | 48 | continu | 800 | 20 | 110 | Transmission par courroies |
| 13 | Dingler'sche Maschinenfabrik, Zweibrücken. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | A cylindre unique horizontale | 200 | 64 | continu | 700 | 30 | 110 | Transmission par courroies |
| 14 | Dingler'sche Maschinenfabrik, Zweibrücken. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | A cylindre unique horizontale | 190 | 84 | continu | 600 | 42 | 220 | Transmission par courroies |
| 15 | Dingler'sche Maschinenfabrik, Zweibrücken. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | A cylindre unique horizontale | 180 | 100 | continu | 550 | 55 | 220 | Transmission par courroies |
| 16 | Dietrich et Bracksieck, Bielefeld. | Ernst-Heinrich Geist, Cologne. | Compound horizontale | 95 | 225 | continu | 300 | 150 | 440 | Transmission par câbles |
| 17 | Oskar Recke, Rheydt. | Max Schorch, Rheydt. | Compound horizontale | 140 | 350 | continu | 140 | 250 | 440 | Accouplement direct |

| NUMÉROS D'ORDRE | NOMS DES CONSTRUCTEURS — DES MOTEURS A VAPEUR ou à gaz | NOMS DES CONSTRUCTEURS — DES DYNAMOS | MOTEURS A VAPEUR ou à gaz — TYPE des machines | MOTEURS A VAPEUR ou à gaz — Tours par minute | MOTEURS A VAPEUR ou à gaz — Chevaux indiqués | DYNAMOS — NATURE du courant | DYNAMOS — Tours par minute | DYNAMOS — puissance en kilowatts | TENSION EN VOLTS | MODE d'entrainement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | III | | | | | | | |
| 18 | Gebr. Meer, M.-Gladbach. | Max Schorch et Cie, Rheydt. | Compound verticale | 200 | 350 | continu | 200 | 250 | 440 | Accouplement direct |
| 19 | Kirberg et Hüls, Hilden. | Max Schorch et Cie, Rheydt. | Compound horizontale | 110 | 150 | continu | 420 | 120 | 220 | Transmission par courroies |
| 20 | H. Wilhelmi, Mühlheim-sur-Rhin. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Machine à vapeur rotative | 625 | 30 | continu | 625 | 20 | 220 | Accouplement direct |
| 21 | K. et Th. Möller, Brackwede. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Compound verticale | 125 | 430 | continu | 125 | 275 | 440 | Accouplement direct |
| 22 | Louis Soest et Cie, Düsseldorf. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Tandem horizontale | 120 | 350 | continu | 120 | 185 | 220 | Accouplement direct |
| 23 | Dingler'sche Maschinenfabrik, Zweibrücken. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Compound verticale | 120 | 650 | continu | 120 | 400 | 440 | Accouplement direct |
| 24 | Ehrhardt et Schmer, Schleifmühle. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Compound verticale | 150 | 480 | continu | 150 | 275 | 220 | Accouplement direct |
| 25 | Maschinenbau Aktien-Gesellschaft Union, Essen. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Tandem horizontale | 94 | 650 | continu | 94 | 440 | 440 | Accouplement direct |
| 26 | Neumann et Esser, Aix-la-Chapelle. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Compound verticale | 150 | 200 | continu | 150 | 100 | 220 | Accouplement direct |
| | | | IV | | | | | | | |
| 27 | Louis Soest et Cie, Düsseldorf. | E. A. G. vorm. W. Lahmeyer et Cie, Francfort-sur-Mein. | Compound verticale | 525 | 150 | continu | 525 | 75 | 220 | Accouplement direct |
| 28 | Gasmotorenfabrik, Deutz (Cologne). | Garbe, Lahmeyer et Cie, Aix-la-Chapelle. | Moteur à gaz | 170 | 250 | continu | 170 | 165 | 220 | Accouplement direct |
| 29 | Gasmotorenfabrik, Deutz (Cologne). | Max Schorch et Cie, Rheydt. | Moteur à gaz | 180 | 50 | continu | 180 | 35 | 220 | Accouplement direct |

Le courant électrique est livré sur des tableaux particuliers appartenant aux fournisseurs sous une tension régulière qui est ainsi définie :

| | | |
|---|---|---|
| Courant continu . . . . . . . . . . . . | 115-230 volts | |
| » » . . . . . . . . . . . . | 220-440 » | |
| » alternatif triphasé . . . . . . . | 2 000 » | fréquence, 50 périodes par seconde |
| » » » . . . . . . . | 5 000 » | » 50 » » |
| » » simple . . . . . . . | 10 000 » | » 50 » » |

Les tableaux des groupes électrogènes portent tous les moyens d'interruption et de protection d'usage ordinaire, ainsi que les appareils de mesure.

Aux bornes du tableau du fournisseur, l'Administration prend le courant électrique. Toute l'énergie électrique produite par les groupes électrogènes est amenée par des cana-

lisations souterraines au tableau général de distribution, livré par les ateliers de construction d'appareils électriques Voigt et Haeffner, Francfort-sur-le-Mein et installé dans le Palais des Machines du côté ouest.

Les constructeurs des machines nommés ci-dessus ont pris la charge de mettre en tout temps, à la disposition de l'Administration, l'énergie électrique qu'ils se sont engagés à produire. Les conditions financières de la fourniture sont les suivantes. La vapeur est livrée gratuitement aux machines motrices. Aux constructeurs de dynamos est allouée une somme totale de 40 000 marks, tandis que les fournisseurs des machines à vapeur reçoivent une rémunérat'on proportionnelle au nombre d'heures de marche et à la puissance nor-



Fig. 1. — Vue du Grand Palais.

male pour laquelle la machine est acceptée par l'administration. L'installation et l'exploitation des machines et appareils ainsi que les travaux de fondations des massifs des machines est aux frais des fournisseurs.

La production de la vapeur nécessaire à l'alimentation des moteurs des divers groupes électrogènes est assurée par un ensemble de 16 chaudières installées du côté nord du Palais des machines, abritées par un hangar construit en fer. La surface de chauffe totale de ces 16 chaudières est de 3 550 m² environ. Le tableau suivant indique les noms des constructeurs, le nombre de chaudières fournies par chacun d'eux, le type de ces chaudières et leur surface de chauffe. Deux cheminées de 58 m de hauteur et de 2,50 m de diamètre intérieur au sommet sont destinées au service de cette série de batteries.

La vapeur a, dans la conduite générale, une tension effective moyenne de 12 kg : cm².

Toutes les machines à vapeur sont en relation avec un condenseur central situé tout près des batteries de chaudières et sorti des ateliers de la Société Balke et Cie, Bochum.

Il offre un très grand intérêt. Son pouvoir condensant est de 6 500 chevaux ou 40 000 kg

de vapeur à l'heure et il se compose des installations suivantes : purification de la vapeur souillée d'huile, le condenseur proprement dit, les machines à vapeur actionnant les pompes à air, la filtration et les réfrigérants. Il y a deux réfrigérants en forme de cheminées, savoir l'un en bois et l'autre tout en fer.

Le dernier est d'un type nouveau très pratique. Il est construit sans aucun bois et de telle manière que le changement des pièces se fait vite et facilement.

La station centrale d'électricité fournit l'énergie électrique sur tous les points de l'Exposition. Outre cela, il y a une jonction avec la station centrale d'électricité de la ville de

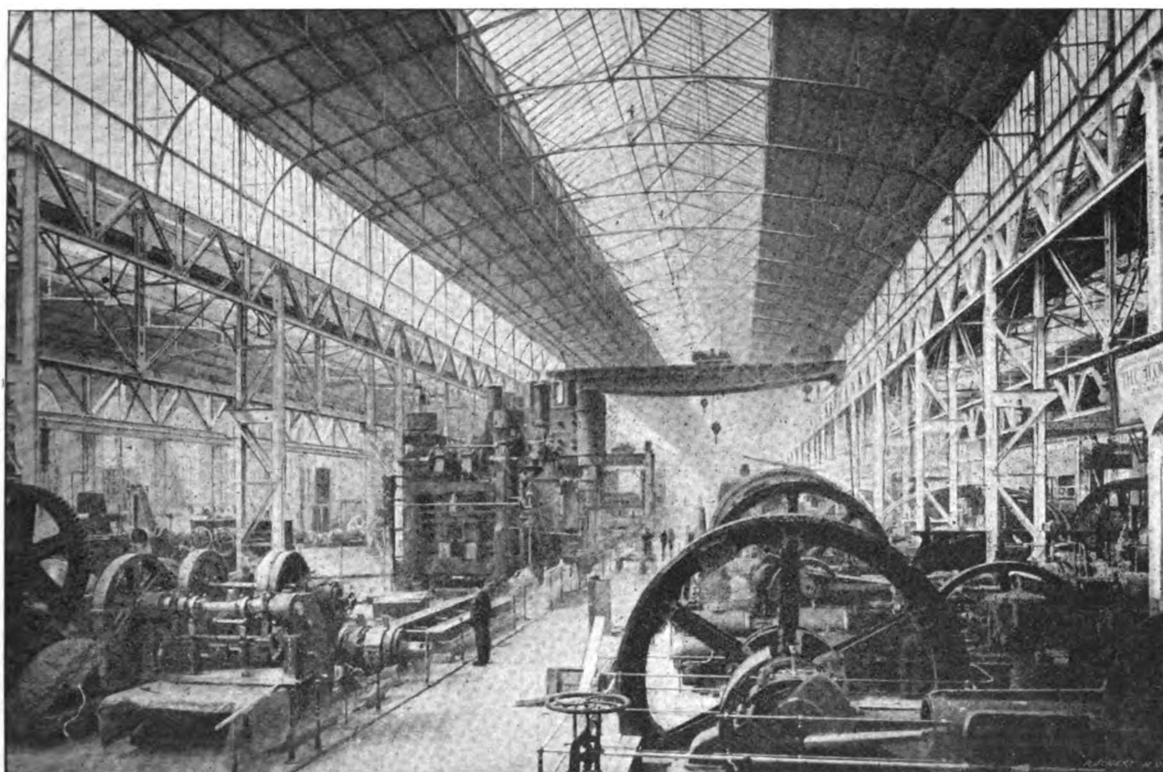


Fig. 3. — Intérieur de la Salle des machines.

Düsseldorf, qui est destinée à fournir l'énergie électrique aux services définis plus loin.

La force motrice et l'éclairage de l'Exposition exigent une puissance totale de 6 500 kilowatts, utilisés de la manière suivante. Les moteurs électriques, installés dans les divers palais et bâtiments de l'Exposition par les soins de l'administration, sont au nombre de 400 environ. Ces moteurs de diverses puissances et de systèmes divers sont alimentés en partie par du courant continu et en partie par des courants triphasés. Ils consomment une puissance totale de 4 000 chevaux environ. L'éclairage de l'Exposition comprend en tout 50 000 lampes à incandescence et 1 000 lampes à arc.

La plus grande demande pour force motrice n'a pas lieu en même temps que le maximum pour l'éclairage. C'est pourquoi la charge de la station centrale ne dépasse jamais 5 000 kilowatts, c'est-à-dire 50 p. 100 environ de la puissance totale. Il y a donc assez de réserve en cas d'interruption dans le fonctionnement d'un ou plusieurs groupes électrogènes.

Le tableau général de distribution où se trouve totalisée l'énergie fournie par les groupes individuels est représenté sur la figure 5.

****

Fig. 4. — Palais des Machines. — Station centrale d'électricité.

CONDENSATION : *a*, *b*, *c*, *c*. Pompes, tour de refroidissement et réfrigérants en forme de cheminée de Balcke et C°. *d*. Pompes de Sack et Kielselbach, de Rath-Düsseldorf. — SALLE DES CHAUDIÈRES. — Voir le tableau (p. 100) *e*, *e*, cheminées de A. Custodis, de Düsseldorf. — *f*, surchauffeur de la Dingler Maschinen-Fabrik. — GROUPES ÉLECTROGÈNES. — Voir le tableau (p. 394). — EXPOSANTS DIVERS. — A, Voigt et Haeffner, de Francfort. — B. Helios, E. A. G. de Cologne-Ehrenfeld. — C. Hermann Hartung, de Düsseldorf. — D. Joseph Eck fils, de Düsseldorf. — E. Schürmann, de Düsseldorf. — F. Willhelm-Ferdinand Heim, de Offenbach-sur-le-Mein. — G. Kleinwefers et fils, de Crefeld. — H Banning, de Düren. — I, Weber et C°, de Düsseldorf. — J. Brune, de Cologne. — K. Simpelkamp et C°, de Crefeld. — L, G. Peiseler, de Nemscheid. — M, Maschinen-Fabrik Mönus A.-C., de Francfort. — N, C. N. Hasenclever fils, de Düsseldorf-Bilk. — O, Stahl und Eisen A.-G. — P., Collet et Engelhardt, de Offenbach sur-le-Mein. — Q, Meer frères, de Gladbach. — R. Frédéric Spies, de Barmen-Ritterhausen. — S. Pelter et Ehlers, de Crefeld. — T, de Fries et C°, de Düsseldorf. — U. Rob. Spies et Fréd. Sohn, de Barmen-Leimbach. — V. Köllmann, de Barmen. — W. Maschinen Fabrik « Deutschland », de Dortmund. — X. Schaermann, de Rheydt. — Y, Habersang et Zinsen, de Düsseldorf. — Y., Fischer et C°, de Düsseldorf-Oberbilk. — Z, Ernst Schiess, de Düsseldorf-Oberbilk.

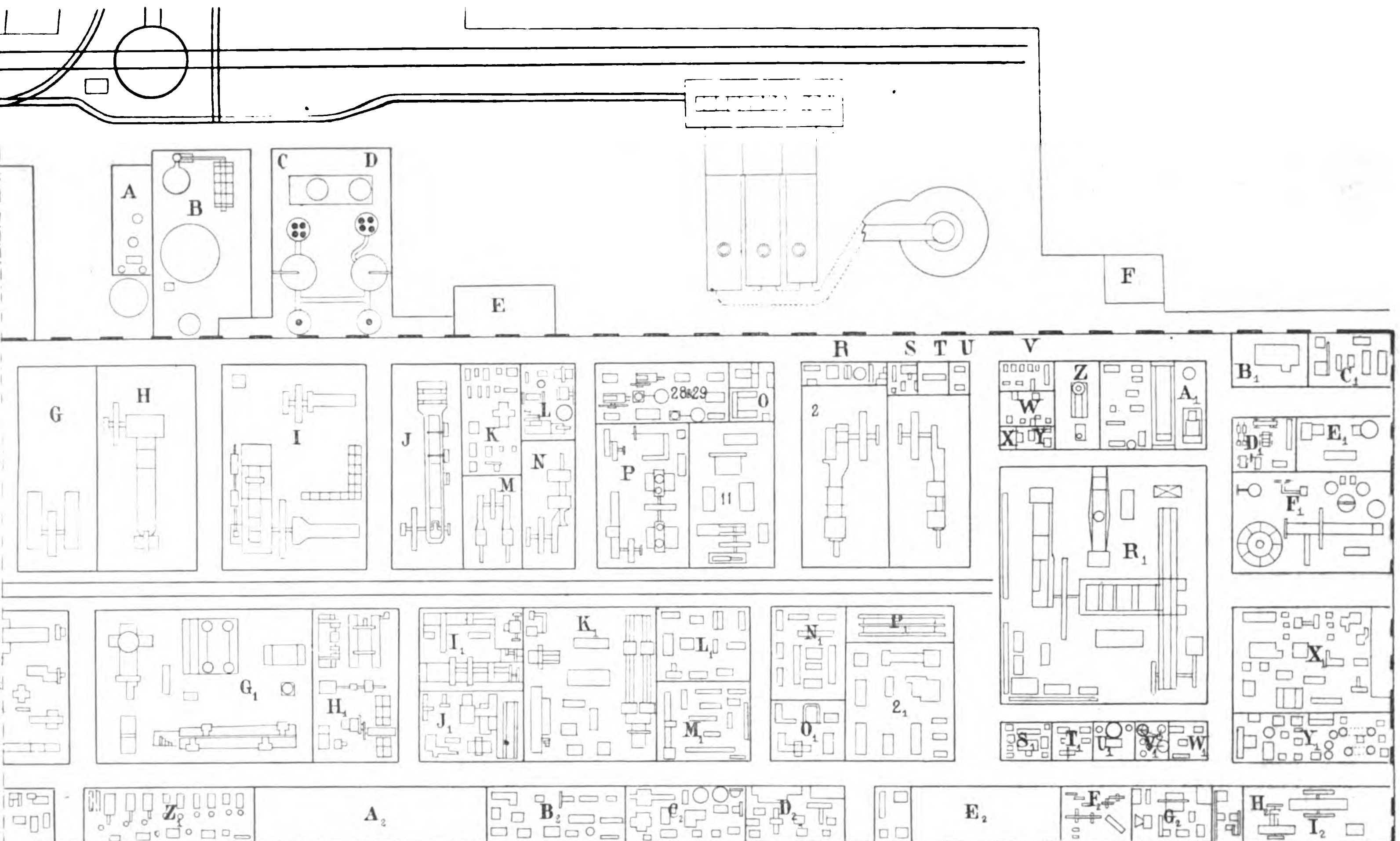



Fig. 4 *bis*. — Palais des machines. — Machines diverses.

Noms des exposants : A, Louis Sœst et C°. — B, Köln. M. B. A. G. de Cologne-Bayenthal. — C, M. B. A. G., ci-devant Klein frères. — D, M. B. A. G., ci-devant A. et H. Oeschilhäuser. — E, installation à air comprimé de Offembacher. — F, J. Bannin, de Hamm. — G, Louis Sœst et C°, de Reisholz. — H, Köln Maschinenbau A. G., de Cologne-Bayenthal. — I, Maschinenbau A. G., ci-devant Klein frères. — J, Siegener M. B. A., ci-devant A. et H. Oeschelhäuser, de Siegen. — K, R. W. Dinnendhal Kunstwerkerhütte, de Steele sur la Ruhr. — L, les frères Burberg. — M, Th. Calon, de Bielefeld. — N, Eschweiler M. B. A. G. — O, Berger et C°. — P, Pokorny et Wikkland, de Francfort. — Q, Märk Maschinenbau Anstalt, de Wetter sur la Ruhr. — R, Vogel et Lehmann. — S, Hempel. — T, Kuhlmeyer et Kleb. — U, Th. Haas. — V, W. Noll. — W, Fronwein et C°. — X, W. G. Bühl. — Y, Hagener-Gesenk-Schmiederei. — Z, L. Brenkmann Breché et Gross Willen. — $A_1$, Banning Kann. — $B_1$, W. Pünkelberg Steinhausen. — $C_1$, Mayer et C°. — $D_1$, Otto Fromme, de Francfort. — $E_1$, M. B. A. Tigler. — $F_1$, Ullrich et Hinrich. — $G_1$, Breuer, Schumacher et C°, de Kalk. — $H_1$, Maschinenfabrik Sack, de Rath. — $I_1$, Otto Froriep, de Rheydt. — $J_1$, Proop et Rhein, de Bielefeld. — $K_1$, Wagner et C°, de Dortmund. — $L_1$, Falk et Bloem, de Düsseldorf. — $M_1$, Braun et Bloem, de Düsseldorf. — $N_1$, C. Klingelhöfer, de Grevembrach. — $O_1$, Gildemeister et C°, de Bielefeld. — $P_1$, Act.-Ges. Neusser Eisenwerk. — $Q_1$, Fr. Mönkemöller, de Bonn. — $R_1$, Maschinenbau, A.-G., ci-devant Brechem et Ketmann. — $S_1$, Hammebrath et Schwenzer. — $T_1$, les frères Hau. — $U_1$, Hesselbein, de Reygers. — $V_1$, Wurmbach. — $W_1$, Curd Nube. — $X_1$, les frères Schmalz, de Offenbach. — $Y_1$, Fred Schmalz, de Offenbach-sur-le-Mein. — $Z_1$, Malmedie et C°, de Düsseldorf. — $A_2$, Naxos Union, de Francfort. — $B_2$, Meyer et Schmidt. — $C_2$, Act.-Gesel. für Schmirgel und Maschinenfabrikation. — $D_2$, Fontaine et C°, de Francfort. — $E_2$, les frères Heine, de Viersen. — $F_2$, Koch et Wellenstein. — $G_2$, Les frères Krämer, de Siegburg. — $H_2$, L. Schwarz et C°. — $I_2$, Fried. Flender, de Reisholz.

| NUMÉROS des groupes | NOMS DES CONSTRUCTEURS | NOMBRE des chaudières | TYPE des chaudières | SURFACE de chauffe | SURFACE de grille | surface de chauffe / surface de grille |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | m² | | |
| 1 | Düsseldorf-Ratinges Röhrenkesselfabrik, vorm Dürr und C°. . | 2 | Chaudière à bouilleurs | 196,70 | 4,131 | 47,5 |
| 2 | E. Willmann, Dortmund. . . . . | 1 | multitubulaire | 258,50 | 5,26 | 47,2 |
| 3 | Rather Dampfkesselfabrik vorm. M. Gehre, Rath Düsseldorf. . | 1 | chaudière à bouilleurs | 236,29 | 5,594 | 42,2 |
| 4 | Petry Dreux, Düren . . . . . . . | 1 | multitubulaire | 300,32 | 5,814 | 51,7 |
| 5 | Rhein Röhrendampfkesselfabrik, A. Büttner und C°, Nerdingen . | 2 | chaudière à bouilleurs | 172,00 | 3,85 | 44,7 |
| 6 | Walther et C° Kalk-Cologne. . . | 1 | chaudière à bouilleurs | 151,56 | 3,83 | 39,5 |
| 7 | Deutsche Babcock und Wilcox. . | | | | | |
| 7 a | Dampfkessel werke Oberhausen . | 1 | multitubulaire | 360,40 | 6,34 | 56,8 |
| 8 | « Humboldt » Kalk-Cologne . . | 1 | chaud. marine | 190,30 | 5,14 | 36,9 |
| 9 | Jaques Piedbœuf, Düsseldorf . . | 1 | multitubulaire | 203,267 | 3,74 | 54,0 |
| 10 | Stahl und Eisen, Hörd i. W. . . | 1 | multitubulaire | 268,04 | 4,68 | 57,3 |
| 11 | Rather Dampfkesselfabrik vorm. M. Gehre, Rath-Düsseldorf . . | 1 | multitubulaire | 282,046 | 5,07 | 55,6 |
| 12 | Kolnische Maschinenbau A. G. | 1 | Cornouailles | 100,00 | 2,74 | 36,5 |
| | Cologne-Bagenthal . . . . . . | | Cornouailles | 91,10 | 2,60 | 35,0 |
| 13 | L. Koch, Siegen . . . . . . . . | 1 | Cornouailles | 80,1565 | 2,4624 | 32,0 |

Les canalisations principales sont presque toutes souterraines et en câbles armés.

Le courant continu est livré sous deux formes, à savoir: aux tensions de 440 et 230 volts.

Le courant continu sous 220 + 220 volts est destiné aux divers services de l'Exposition pendant que celui de 115 + 115 volts alimente seulement les appareils et l'éclairage des fontaines lumineuses placées en avant de la façade du grand Palais de l'Industrie et quelques installations tout près du Palais des Machines. Les canalisations à courant continu sont toutes à trois fils; elles alimentent les régions suivantes: Palais des Machines; grand Palais de l'Industrie; Palais des Beaux-Arts; Bâtiments des pompes; Hall des Fêtes; Hall de l'Industrie III, supplémentaire, Union des intérêts miniers, Chemin de fer électrique à accumulateur.

Les canalisations du courant alternatif simple (qui ne sont pas indiquées dans la figure 5) conduisent le courant du générateur sous 10 000 volts et 50 périodes par seconde aux postes de transformation où la tension est abaissée à 150 volts et d'où partent les canalisations secondaires. Les câbles armés pour les courants alternatifs simples sous 10 000 volts sont fournis par « Land und Seekabelwerke, Cologne-Nippes ». Les transformateurs établis aux sous-stations ont été fournis par W. Lahmeyer et C^ie^ ainsi que la génératrice. Cette dynamo est la seule machine sans aucune réserve en cas d'interruption dans son fonctionnement. Cette disposition est permise parce que l'énergie de ce groupe électrogène est destinée seulement à alimenter les installations de la décoration lumineuse de divers palais, des allées et du grand pont du Rhin. La décoration lumineuse du pont du Rhin comporte l'emploi de 6000 lampes à incandescence.

Le courant alternatif triphasé d'une tension de 5 000 volts, fourni par deux machines, l'une de W. Lahmeyer et C^ie^, Francfort-sur-Mein, l'autre, de Max Schorch, de Rheydt, est distribué par trois lignes souterraines en câbles armés à trois conducteurs, sortis des usines Land und Seekabelwerke, de Cologne-Nippes. Les trois lignes aboutissent aux postes de transformateurs. La tension y est abaissée à 110 volts. Les sous-stations desservent les canalisations secondaires d'éclairage et de transmission de force motrice du quartier nord de l'Exposition, du grand Palais de l'Industrie et en partie du Palais des Machines. Les sous-stations ont une puissance individuelle de 40 à 280 kilowatts. Dans le quartier du nord

elles sont au nombre de six, réunies circulairement par les canalisations primaires. Outre cela, il y a une ligne souterraine en câbles armés à trois conducteurs entre les six stations du quartier du nord et celui du grand Palais de l'Industrie. La section des conducteurs de ces câbles est choisie si grande qu'on peut, dans les cas d'interruption de l'une quelconque des lignes principales, alimenter les sept sous-stations par ces canalisations qui sont encore en activité.

Les courants triphasés à 2 000 volts et 50 périodes par seconde, générés par les deux dynamos de « Electricitäts Aktien-Gesellschaft Helios », Cologne, et « Deutsche Electricitäts Werke Garbe, Lahmeyer et Cie », Aix-la-Chapelle, sont conduits par quatre lignes souterraines en câbles armés à trois conducteurs aux postes de transformateurs où la tension sera abaissée à 110 volts. Les sous-stations sont au nombre de huit et ont une puissance individuelle de 10 à 50 kilowatts. Les canalisations secondaires alimentent les régions suivantes : Gutehoffnungshutte, Bergbaulich Verein, le quartier sud de l'Exposition et une partie du Palais des Machines. Tous les transformateurs pour le courant alternatif sont livrés et établis aux sous-stations de distribution par les constructeurs des machines à courant alternatif. Le plan général (fig. 1) donne la répartition des postes de transformation. Le tableau général de distribution (fig. 5) indique clairement toutes les dispositions prises par le Directeur des services électriques pour garantir la sécurité de l'exploi-

Fig. 5. — Tableau de distribution.

tation. Conformément aux explications précédentes, l'administration de l'Exposition fournit l'énergie électrique aux seuls consommateurs qui ont contracté un abonnement pour la durée de l'Exposition, et principalement en deux formes, savoir le courant continu sous 220+220 volts et courants triphasés à 110 volts et 50 périodes par seconde, indistinctement pour l'éclairage et la force motrice. Les branchements sur les canalisations générales seront faits aux frais de l'abonné. L'abonné doit fournir un emplacement agréé par l'Administration pour y placer le compteur. L'Administration fournit en location et met en place le compteur. Le prix de la pose du compteur est fixé à 10 marks ; celui de location et d'entretien par mois à 10 marks. L'énergie électrique fournie aux particuliers est tarifiée ainsi qu'il suit :

| | | |
|---|---|---|
| Energie employée à la force motrice | 4,75 | centimes l'hectowatt-heure |
| » à l'éclairage | 8,75 | » » |

Après la clôture de l'Exposition, l'Administration fera une remise de 5 p. 100 jusqu'à 25 p. 100 proportionnelle à la somme totale payée pour l'utilisation de l'énergie électrique pendant la durée de l'Exposition.

Pour l'éclairage général de l'Exposition, on a installé 800 lampes à arc environ. Le tableau suivant indique les noms des fournisseurs qui participent à l'éclairage général et le nombre des lampes à arc fournies par chacun d'eux.

| | | |
|---|---|---|
| Elektricitæts Aktien Gesellschaft Helios, Cologne | 325 | lampes à arc |
| Regina-Bogenlampenfabrik, Cologne | 200 | » |
| Voltohm Elektricitæts Gesellschaft, Francfort-sur-le-Mein | 50 | » |
| Rheinische Bogenlampen Fabrik, Rheydt | 12 | » |
| Deutsche Gesellschaft für Bremer-Licht, Neheim-sur-la-Ruhr | 14 | » |
| Körting et Mathiesen, Leipzig-Leutzch | 200 | » |

Ces lampes sont réparties sur tout le terrain de l'Exposition. Toutes les canalisations destinées à fournir le courant pour l'éclairage général sont aériennes.

Outre ces lampes à arc, on a prévu un éclairage de service pour la nuit, assuré au moyen de 300 lampes à incandescence environ, distribuées sur le terrain de l'Exposition. L'alimentation de ces lampes à incandescence peut avoir lieu par les dynamos actionnées par les moteurs à gaz, ou par celle qui est accouplée avec la turbine à vapeur, ou encore par la batterie d'accumulateurs dont il sera question plus loin (voir fig. 5). En outre, il y avait intérêt à établir un éclairage de sûreté, dans la salle des Fêtes. Cette installation livrée et posée par l'usine Behrend-Accumulatorenwerke, Francfort-sur-Mein, se compose d'un certain nombre de petites batteries d'accumulateurs, dont chacune est pourvue d'une lampe à incandescence de trois bougies. Pour charger ces batteries pendant la journée par les canalisations principales à courant continu, on les connecte en série. Après l'interruption du branchement, chaque batterie alimente sa lampe à incandescence.

Le moyen de transport spécial à l'Exposition est le chemin de fer électrique à accumulateurs établi par les Kölner Accumulatoren Werke, Gottfried Hagen, Cologne. Comme nous l'avons déjà dit, le constructeur voudrait montrer que malgré les insuccès des tramways à accumulateurs de Berlin et de Hanovre, il est possible d'exploiter des lignes à accumulateurs avec sécurité et économie. D'un développement de près de 3 500 m, le tracé du chemin de fer électrique suit à l'intérieur l'enceinte de l'Exposition (voir plan général, fig. 1). Les voies sont formées par les rails établis par l'Administration du chemin de fer de l'État prussien pour le transport des marchandises avant l'inauguration de l'Exposition. Les voitures automobiles sont fournies par la Elektricitäts Aktien Gesellschaft « Helios » Cologne.

Elles sont des plus nouvelles constructions de cette usine. Les voitures sont actionnées par un moteur de 12 chevaux de la même fabrique. Elles comportent 34 places, dont 18 assises et 16 debout. La vitesse de marche est de 12 à 16 km à l'heure. L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du chemin de fer est fournie à la ligne en forme de courant continu sous 180 volts exclusivement par les batteries d'accumulateurs posées au fond de la voiture. Chaque batterie se compose de 86 éléments du type « Automobile » de l'usine Gottfried Hagen, Cologne, correspondant à une tension de la charge de 220 volts possédant une capacité de 300 ampères-heure et du poids total de 2 000 kg. La charge pendant la journée a lieu par les canalisations principales à courant continu. De minuit à sept heures du matin on recharge les batteries d'accumulateurs, principalement avec le courant de la station centrale de Düsseldorf. Le tableau général de distribution (fig. 5) indique le schéma des connexions.

(*A suivre.*)

A. Seyferth,
Düsseldorf.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## TÉLÉGRAPHIE

***Quelques installations de télégraphie sans fil de l'Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft*** par l'ingénieur comte **Arco**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, 30 janvier 1902.

Une installation de télégraphie sans fil, intéressante au point de vue technique, a été faite l'année dernière pour la Hambourg-Amerika-Linie. Au printemps 1901, une station fut montée sur le paquebot « Deutschland », par l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, de Berlin, d'après le système Slaby-Arco [1].

Au moyen de cette station, des signaux furent échangés d'abord avec les stations pourvues d'autres systèmes, puis plus tard, en automne, une deuxième station fut établie, d'après le même système Slaby-Arco, à Duhnen, près de Cuxhaven, dans le voisinage des bâtiments de la société.

La station à bord du Deutschland, présente certaines particularités intéressantes. La cabine des appareils, très petite, est située derrière le pont promenade, à tribord ; elle a comme dimensions 1 m sur 1,50 m à la base et 2,50 m de hauteur intérieure.

Pour la transmission, on emploie une bobine de 50 cm d'étincelle, alimentée avec du courant alternatif. A cet effet, les dynamos à lumière A. E. G. produisant normalement du courant continu, peuvent recevoir sur l'arbre, entre l'armature et un des paliers, des bagues collectrices de courant alternatif (dispositif Dobrovolsky).

Dans le cas actuel, sur ces bagues est pris un courant alternatif de 25 périodes par seconde qui est amené à la cabine des appareils au moyen de câbles concentriques.

L'antenne qui sert pour l'envoi et la réception est un toron de 12 fils de cuivre, isolé au caoutchouc. Elle est hissée au mât de l'arrière — 32 m de hauteur au-dessus du pont — mais seulement quand on doit télégraphier ; on l'amène dès qu'elle ne sert plus. L'antenne sort de la cabine sur le pont supérieur ; elle est suffisamment isolée par un revêtement de 10 mm de caoutchouc, et pendant la transmission, les décharges ou les secousses par contact accidentel sont à peine sensibles.

Toutes les parties mobiles de l'appareil récepteur sont équilibrées par des contrepoids pour éviter, autant que possible les inconvénients du roulis et du tangage, et elles sont protégées par

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 25 janvier 1902. — Nous donnons en outre en figures 1 et 2 les schémas du montage des postes tel qu'il était effectué en 1900 ; la figure 3 donne une vue de la bobine d'induction, spécialement construite par l'A. E. G. pour la télégraphie sans fil ; la figure 4 montre l'interrupteur employé.

du feutre et du caoutchouc contre les trépidations qui, à l'endroit où se trouve la cabine, sont très sensibles à certaines allures. Malgré cela, pendant la navigation, le relais, qui est la partie la plus délicate de toute l'installation, ne peut pas se trouver dans les conditions aussi bonnes que dans une installation fixe.

Aussi l'intensité et la netteté de la réception en souffrent dans une certaine mesure, et jusqu'ici la distance maxima obtenue entre un bateau naviguant et une station à terre a toujours été notablement inférieure à celle obtenue entre deux stations fixes, séparées par la mer.

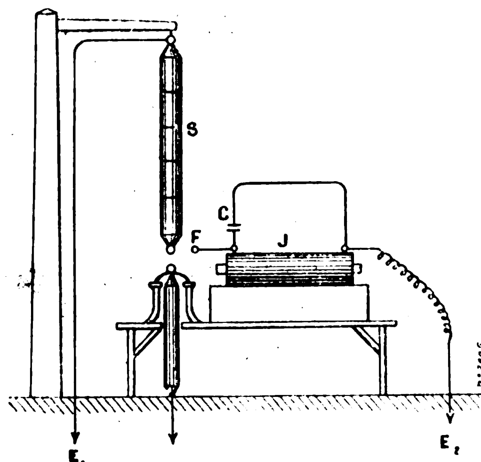



Fig. 1. — Poste transmetteur Slaby-Arco.
J, bobine. — C, condensateur. — F, exploseur. — S, antenne d'émission. — $E_1$, $E_2$, plaques de terre.

L'accord du « Deutschland » sur la station « Duhnen » fut réalisé, les deux postes étant à une distance de 52 km (32 km environ au-dessus de la terre). Cet accord a été obtenu si exactement, et comme conséquence on a eu une si grande intensité de réception, qu'une bonne interprétation fut possible à cette distance, avec seulement 2 mm d'étincelles ; c'est ce que montre la reproduction photographique d'une dépêche reçue dans ces conditions.

Le Deutschland a communiqué en outre avec la station Braun, de Helgoland [1], avec les stations Marconi de Borkum [1], de l'île de Wight et avec le bateau-feu de Nantucket, devant l'entrée du port de New-York. On se rendit compte par là, dit l'auteur, qu'une entente internationale serait désirable, sous le rapport des longueurs d'ondes électriques employées. Par exemple, pendant que le quart de la longueur d'onde du transmetteur de Duhnen est d'environ 90 m, la même donnée pour Helgoland n'est que de 45 m : celles des trois autres stations au contraire, sont plus grandes que la dernière, mais plus petites que celle de Duhnen.

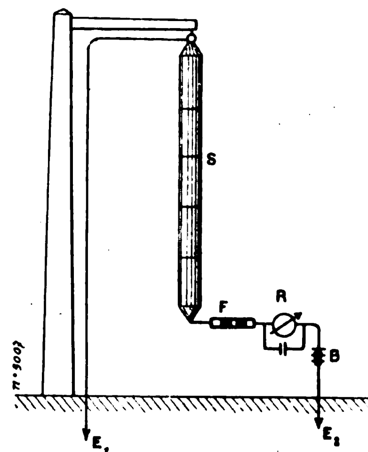



Fig. 2. — Poste récepteur Slaby-Arco.
S, antenne. — F, cohéreur. — R, relais. — B, pile. — $E_1$, $E_2$, plaques de terre.

Pour accorder le récepteur du « Deutschland » avec les deux stations principales, un commutateur unipolaire à levier permet d'intercaler dans le système récepteur, soit les bobines d'accord pour Duhnen, soit celles qui correspondent à la station américaine.

A bord du « Deutschland », la sécurité de la transmission est absolue, vu que la source de trouble la plus importante — l'interrupteur — est supprimée. Le courant alternatif alimentant la bobine est ouvert et fermé, pour faire les signaux Morse, avec un manipulateur à soufflage d'étincelle électromagnétique.

La distance maxima obtenue entre le « Deutschland » et le bateau-feu américain fut de 75 km. Bien que l'accord ne fût pas encore parfait, trois longs télégrammes privés purent être expédiés par des passagers.

Du reste, la distance de transmission est toujours plus grande au départ qu'à l'arrivée ; cela tient à ce qu'à l'arrivée, l'antenne qui est dirigée vers l'arrière, se trouve en partie masquée par les mâts et par le gréement.

La communication avec Duhnen, notamment

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 1er février 1902.

au dernier départ de cette saison, eut lieu dans de meilleures conditions. Les hauteurs de mâtures étant en moyenne de 40 m environ, la distance extrême de signaux sûrs, garantie avec cette installation, était de 80 km. La figure 5 représente la courbe de garantie, les hauteurs de mâts en mètres étant portées comme ordonnées, et les distances en kilomètres comme abscisses.

Mais une photographie jointe à l'article de M. Arco, et reproduisant une dépêche transmise, montre que le « Deutschland » se trouvant en pleine mer au delà de Borkum, c'est-à-dire à 150 km de la station de Duhnen, la limite ex-

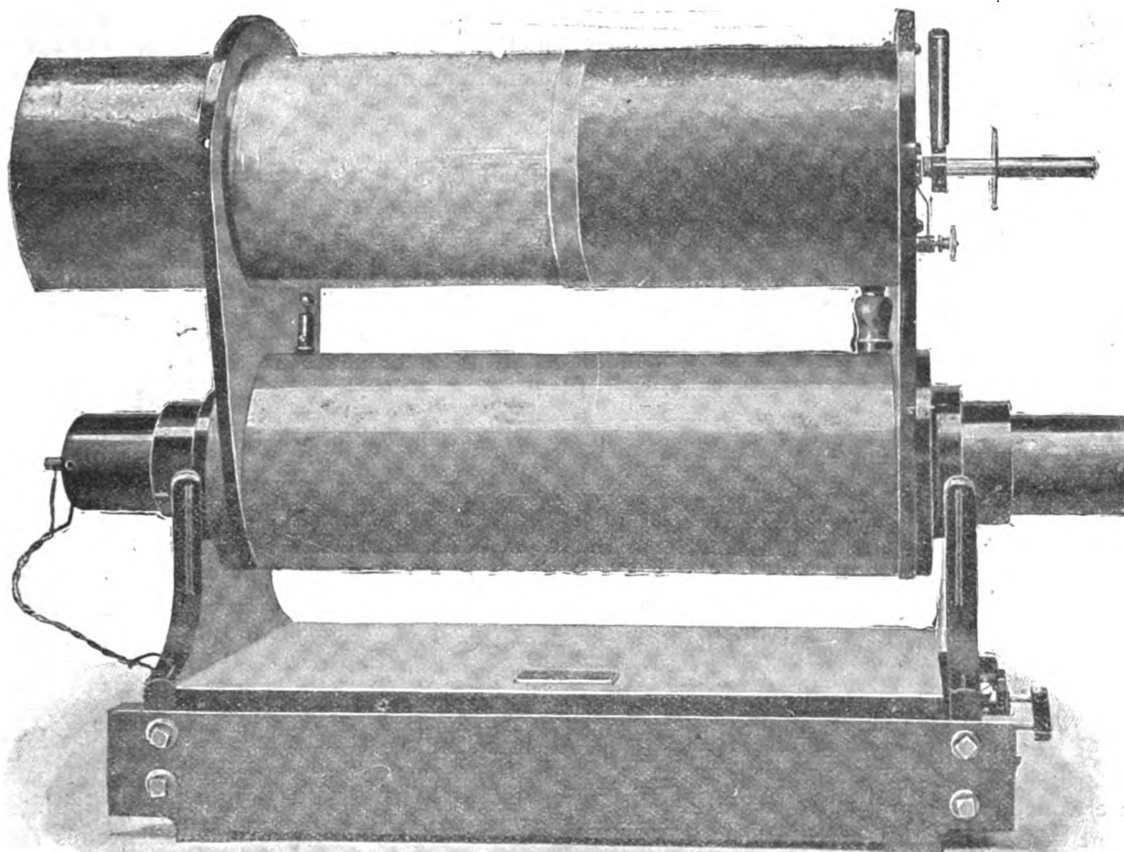


Fig. 3. — Bobine d'induction de l'A. E. G.

trême de sécurité des signaux n'était pas encore atteinte, et par conséquent la limite de garantie se trouve ainsi dépassée de plus du double. La communication avait duré ce jour-là plus de quatre heures.

Une deuxième installation intéressante, décrite dans le même article, a été faite également l'année dernière pour le service des phares danois. Elle a pour but la réunion du bateau-feu de Vyl avec le phare de Blaavandshuk, près de Esbjerg.

L'entrée du port de Esbjerg est rendue dangereuse par de nombreux bancs de sable et fréquemment on observe, du bateau-feu de Vyl, des signaux de détresse ou des échouages. Avec l'installation actuelle, l'avis du sinistre est envoyé immédiatement par la télégraphie sans fil au phare de Blaavandshuk, distant de 30 km. Il est ensuite communiqué par téléphone aux services de sauvetage le long de la côte, et par le télégraphe Morse au réseau télégraphique intérieur.

La station du bateau-feu Vyl est établie dans un petit coin de la cabine du pilote. La mer, à cet endroit de la mer du Nord, est extrêmement grosse par mauvais temps, et le bateau tout en-

tier danse sur les lames d'une façon désordonnée. Tous les appareils devaient par conséquent être protégés le mieux possible contre les secousses et les chocs violents. Malgré ces conditions défectueuses, les appareils, équilibrés dans toutes leurs parties mobiles avec un soin particulier, fonctionnent sans faute, même par le plus mauvais temps.

Comme il n'existait pas de source de courant sur le bateau-feu, la bobine est alimentée directement par des éléments secs qui fournissent environ 2,5 ampères sous une tension de 10 volts. Le mât n'a que 25 m de hauteur.

A cause de la faible énergie électrique dont on disposait, la capacité de l'excitateur put être portée seulement à 0,0005 microfarad ; mais la bobine donne encore des étincelles de 5 mm.

Au phare de Blaavandshuk, on a complètement renoncé à l'érection d'un mât, et l'antenne d'émission ou de réception, fixée au sommet du phare et débordant sur le côté, est amenée directement à la cabine des appareils. La longueur de fil s'élève ici à environ 65 m et la hauteur d'antenne à 50 m.

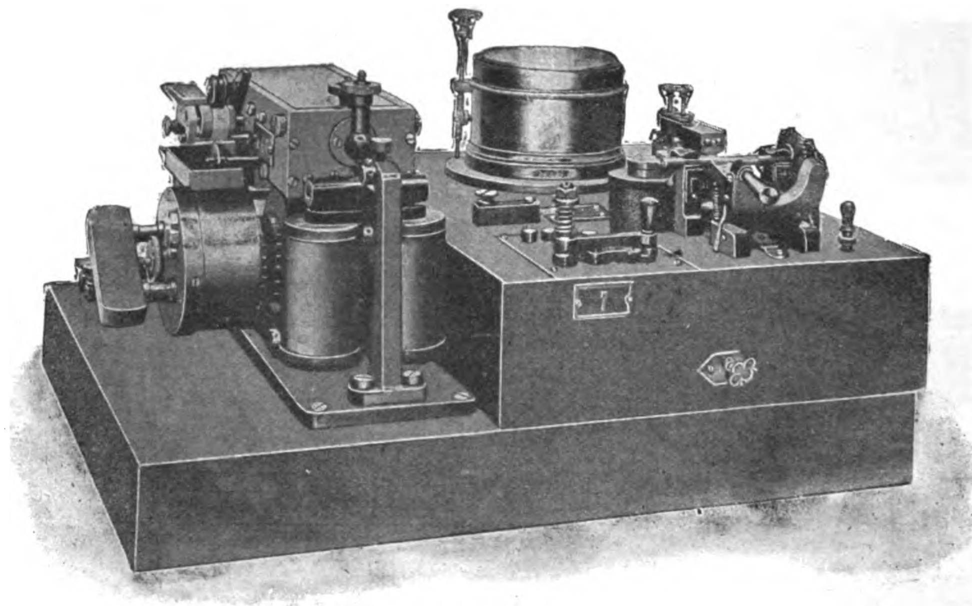



Fig. 4. — Interrupteur de l'A. E. G.

Il s'agissait alors de résoudre le problème difficile consistant à mettre en résonance ces deux longueurs de fil tout à fait différentes. Le résultat a été obtenu finalement de la façon suivante : quand le bateau-feu transmet, les deux conducteurs aériens sont accordés sur la même fréquence ; seulement, le conducteur du bateau-feu vibre en un quart d'onde, et celui du phare au contraire, en trois quarts d'onde. Inversement, quand la station du phare envoie, les deux conducteurs aériens vibrent également à la même fréquence, mais les deux en un quart d'onde ; et pour cela, le nombre de vibrations propres de l'antenne du bateau est abaissé artificiellement par l'introduction d'une plus grande bobine.

Les enregistreurs Morse et les manipulateurs employés au phare peuvent être greffés sur la ligne télégraphique intérieure, et les télégrammes arrivant à l'appareil Morse peuvent ainsi être directement transmis au loin, en utilisant les lignes ordinaires.

Comme source de courant, on emploie au phare une batterie d'accumulateurs — 48 volts avec une capacité d'environ 20 ampères-heure. — La batterie est rechargée tous les quinze jours ; la dynamo de charge est conduite par un moteur à gaz déjà utilisé à la production d'air comprimé pour la sirène.

Il était particulièrement difficile, dans le voisinage du phare, d'obtenir « une bonne terre ». Les couches de sables environnantes forment en effet un excellent isolateur. La difficulté fut levée en posant horizontalement dans le sol et en les enterrant plusieurs câbles de cuivre nu, d'une

longueur à peu près égale à celle du conducteur aérien. Ces câbles agissent comme une capacité remplaçant la terre.

Le service des stations est assuré, d'un côté par le pilote du bateau-feu, de l'autre par le gardien du phare, tous deux ont appris dans ce but l'alphabet Morse et la manipulation des appareils.

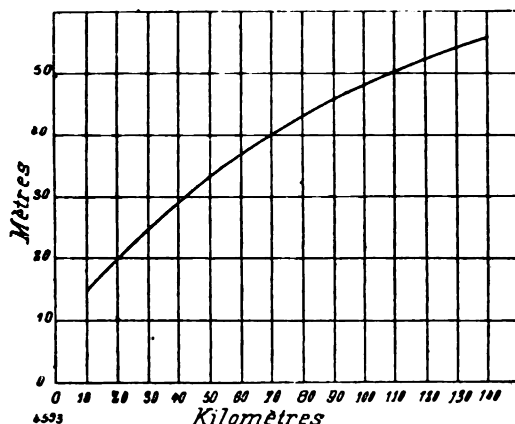



Fig. 5.

Malgré ces difficultés de diverses sortes, avec cette installation qu'on pouvait regarder comme une « épreuve du feu » pour la télégraphie sans fil, la communication entre les deux stations, abstraction faite de quelques troubles de services inévitables, est complètement satisfaisante.

Aussi le service des phares danois a l'intention de relier prochainement, de la même manière, le phare de Blaavandshuk avec le bateau-feu Horns-Riff, distant de 50 km.

Les deux stations fixes à terre, Duhnen et Blaavandshuk sont maintenant accordées sur le même nombre de vibrations ; leur distance s'élève à un peu plus de 200 km.

J. R.

***Sur la télégraphie sans fil avec appareils accordés*** [1], par **Marconi**. *L'Elettricista* du 1er juillet 1901, t. X, p. 158.

L'auteur retrace les progrès réalisés par lui dans la télégraphie sans fils, depuis l'hiver 1901, en ce qui concerne particulièrement la syntonisation des appareils. Avec l'ancienne disposition du poste récepteur (antenne verticale reliée à la terre à travers le cohéreur), on n'obtenait aucun accord satisfaisant, bien que l'on réalisât une certaine séparation des signaux dans des stations utilisant des hauteurs d'antennes différentes [1]. Une simple barre droite où sont provoquées des oscillations électriques constitue un excellent radiateur d'ondes, mais comme l'a expliqué Fleming, pour ces formes de conducteurs les oscillations sont très rapidement amorties ; Marconi a néanmoins essayé d'accorder le récepteur avec un transmetteur de l'ancien système. Pour cela, le récepteur est disposé comme dans la figure 1 (brevet du 1er juin 1898) ;

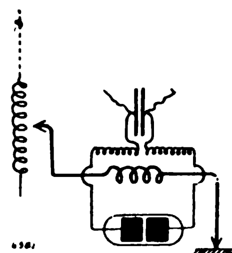


Fig. 1.

le fil aérien est en communication avec la terre non plus par le cohéreur, mais par le primaire d'un transformateur, dont le secondaire contient le cohéreur en série avec un condensateur. C'est avec ce système qu'a été établie la communication à travers la Manche en 1899. Pour mettre en activité ce récepteur accordé, il faut considérer non seulement la durée d'une période, mais aussi la persistance, pendant un temps suffisant, d'une suite de vibrations. Le fait que, dans certaines conditions, un résonateur répond, même si sa période est très différente de celle de l'oscillateur, tient à ce que toute l'énergie du transmetteur est rayonnée en une ou deux oscillations et que les oscillations induites peuvent se produire librement, avec leur période propre. Au contraire, si la même quantité d'énergie est transmise par une série assez persistante d'un grand nombre d'oscillations, le récepteur ne fonctionnera que s'il y a véritablement résonance, c'est-à-dire accord de la fréquence des oscillations émises et induites.

Avec ce système de récepteur, Marconi a pu

[1] Lecture faite à la « Society of Arts » de Londres.

[1] Ainsi, deux stations à 8 km avec fils de 30 m n'étaient pas influencées par les signaux de deux autres stations à 3 km avec fils de 7 m.

opérer la sélection, à une même station réceptrice (Poole) de deux télégrammes transmis en même temps de l'île de Wight et d'un navire en mer (50 et 16 km). Les oscillateurs étaient du système classique avec fils verticaux de 45 m et 27 m respectivement. Les deux récepteurs de la station avaient le secondaire de leur transformateur accordé, respectivement avec Sainte-Catherine (île de Wight) et le navire en mer ; et il fut constaté (brevet du 19 décembre 1899) que les meilleurs résultats s'obtenaient quand la longueur du fil secondaire du transformateur est égale à celle de l'antenne du poste transmetteur.

Cette sélection des télégrammes n'était plus possible quand les postes transmetteurs étaient placés à la même distance du poste récepteur, ce qui montra la nécessité de recourir à des radiateurs moins amortis.

On peut diminuer l'amortissement soit en ajoutant des inductances aux antennes, soit en augmentant leur capacité. Le premier procédé suggéré par Lodge (1898), ne semble pas avoir donné de résultats satisfaisants ; pour ce qui est de la capacité, l'augmentation des dimensions des antennes est à rejeter au double point de vue de l'encombrement et de la grande dissipation d'énergie qui en résulte durant les premières oscillations. La solution adoptée est représentée dans les deux schémas ci-contre (fig. 2) ; l'addition des antennes $A'A'_1$ augmente la capacité sans augmenter le pouvoir rayonnant (Congrès des électriciens, Paris, 1900). Une disposition beaucoup plus efficace encore (brevet du 21 mars 1900) consiste à donner aux antennes $AA'$, $A_1A'_1$ la forme de cylindres creux, les cylindres $A'$, $A'_1$ étant placés respectivement à l'intérieur des cylindres $A$, $A'$. Mais il est nécessaire de placer une inductance entre l'étincelle génératrice des oscillations et le cylindre qui n'est pas à la terre, de façon à réaliser une différence de phase entre les deux cylindres et à empêcher les effets d'une action mutuelle [1]. On peut ainsi obtenir la résonance du récepteur avec plusieurs postes transmetteurs qui seuls étaient susceptibles d'influencer le récepteur.

Le professeur Lodge a indiqué un autre système de radiateur très persistant, consistant à introduire un condensateur dans le circuit de l'étincelle oscillante. Marconi a adapté ce type à la transmission à de grandes distances, suivant

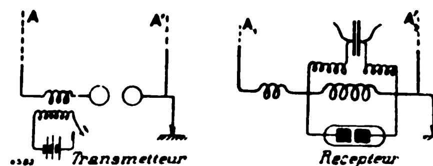



Fig. 2.

la disposition de la figure 3, où l'on utilise pour le transmetteur une sorte de transformateur Tesla. Les premiers insuccès amenèrent à reconnaître la nécessité d'accorder à la même période ou à l'octave les deux circuits du transmetteur, à savoir le condensateur et le primaire du transformateur Tesla, d'une part, et d'autre part, le conducteur aérien et le secondaire. Il en est de même des deux circuits du récepteur (fig. 3). (Brevet du 26 avril 1900) [1].

La facilité et la nécessité d'accorder les stations entre elles fait concevoir l'importance de la faculté de dérégler les appareils en faisant varier la capacité et l'inductance des divers circuits. Il suffit que deux stations connaissent les divers facteurs de leur accord, pour que leurs communications puissent s'effectuer, sans être surprises par des postes étrangers. Mais, de plus, plusieurs récepteurs et plusieurs transmetteurs peuvent être réunis respectivement aux mêmes fils verticaux $A$, $A_1$, et être accordés entre eux au moyens d'inductances différentes ; on pourra

[1] Avec des cylindres de 7 m de hauteur et 1,50 m de diamètre, on obtint facilement la transmission à 50 km (de Sainte-Catherine à Poole), de signaux qui n'étaient ni troublés, ni enregistrés par aucune autre station établie dans le voisinage. La grande capacité du récepteur lui communique une période propre qui l'empêche d'être influencé par les oscillations de période différente, ni par les perturbations atmosphériques assez incommodes en été.

[1] Les condensateurs *e*, *h*, de la figure 3 sont à capacités réglables, ce qui permet de réaliser l'accord entre les différents circuits ; de plus, les conducteurs verticaux se terminent par quelques spires dont on peut introduire le nombre convenable en circuit et régler de cette façon la capacité en série. L'expérience a confirmé le fait que le transformateur du récepteur, avec un secondaire enroulé en spires espacées, a une période approximativement égale à celle du conducteur aérien. On donnera donc à toutes les stations à relier la même hauteur d'antenne, et il ne restera plus qu'à régler la capacité du condensateur du transmetteur pour obtenir la résonance, les secondaires de tous les transformateurs récepteurs ayant tous la même longueur que les antennes.

donc transmettre différentes dépêches en même temps, d'un même poste et les recevoir simultanément au poste récepteur (Fleming, Society of

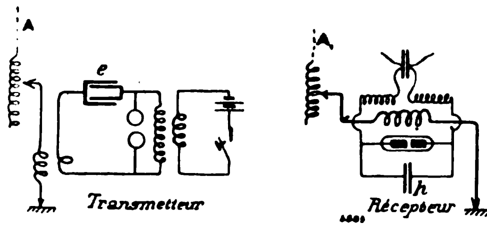



Fig. 3.

Arts, décembre 1900). En employant comme antennes des cylindres concentriques on arrive, en outre, à communiquer à des distances assez grandes avec des appareils de faible hauteur [1]. Marconi est d'ailleurs arrivé à communiquer à 300 km en accordant les appareils et en faisant usage du transmetteur classique ou de celui de la figure 3, avec bobines d'induction appropriées dans les récepteurs. Il a en outre vérifié que la distance possible de transmission varie avec le carré de la hauteur des antennes.

La valeur commerciale de la télégraphie sans fil ne peut plus être mise en doute [2]; mais les jours du système non harmonisé semblent comptés; dans la Manche, en particulier, l'air est sillonné par une telle quantité d'ondes de provenance variée, qu'un récepteur non accordé n'en registre que des signaux indéchiffrables.

P.-L. Charpentier.

(1) On est arrivé à communiquer à 50 km avec des cylindres de 1,25 m de hauteur et de 0,40 m de diamètre.— Marconi en a fait l'application à une voiture automobile à vapeur, avec un cylindre de 6 à 7 m, une bobine de Rhumkorff de 25 cm d'étincelle prenant 100 watts à une petite batterie d'accumulateurs. La terre peut être prise soit sur la chaudière, soit avec une bande de treillis métallique traînant à terre. On pouvait ainsi communiquer à 50 km.

(2) Marconi cite cinq installations de télégraphie sans fil dans l'Afrique Australe (mars 1900), 32 autres de la marine anglaise (mai 1900) communiquant à 160 km avec fils de 49 m, l'installation de Borkum (Allemagne) pour correspondance commerciale avec les navires. Celle du vapeur postal *Kaiser Wilhelm der Grosse* du Nord Deutcher Lloyd. — D'après un rapport officiel de l'Office postal d'Oldenbourg, 565 télégrammes ont été échangés entre le phare et la terre, du 15 mai à la fin d'octobre 1900. — Le système fut établi à la Panne, près Ostende, et sur le bateau postal *Princesse-Clémentine* qui fait le service de Douvres; en mars 1901, aux îles Sandwich où une taxe régulière est établie; entre la Corse et Antibes (200 km); sur les navires du duc de Cornouailles, dans son voyage en Australie, etc.

## DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

***Electrisation de l'air par la décharge en lueurs***, par **O. Lehmann**, *Drude's Ann.*, t. VI, p. 661-681, décembre 1901.

Une électrode isolée soigneusement est terminée par une pointe fixe (aiguille à coudre); elle est reliée à l'un des pôles d'une machine à influence à 20 plateaux; l'autre pôle est en communication avec une feuille de zinc placée sur le parquet et reliée aux conduites d'eau.

S'il ne s'écoule pas d'électricité par la pointe, si la longueur de l'électrode et la surface de la feuille de zinc étaient infinies, les surfaces équipotentielles seraient des hyperboloïdes homofocaux. M. Lehmann a déterminé la forme de ces surfaces en couvrant la pointe d'un chapeau de verre pour empêcher la déperdition de l'électricité et en mesurant les potentiels au moyen d'un appareil à écoulement. La forme des surfaces équipotentielles est bien, en gros, celle qui était prévue.

Quand l'électricité s'écoule par la pointe, les surfaces équipotentielles, déterminées au moyen de sondes, ont une forme différente et qui ne s'accorde pas avec l'hypothèse que l'air serait un médiocre conducteur. Ces surfaces sont bien à peu près sphériques au voisinage de la pointe: mais à la partie inférieure, elles sont fortement bombées et rencontrent la surface de la feuille de zinc sous un angle obtus au lieu de lui être parallèles.

La seule manière d'expliquer cette forme, c'est d'admettre qu'entre la pointe et la feuille de métal l'air est électrisé; sans préjuger d'ailleurs que cette électrisation porte sur tous les éléments de cet air ou seulement sur certaines de ses parties. De toutes façons, l'électrisation des poussières ne peut suffire à expliquer le transport d'électricité relativement considérable qui se produit entre la pointe et le sol (vent électrique).

L'explication de cette électrisation de l'air a été donnée déjà par Faraday. La décharge par lueurs communique l'électrisation à l'air et les particules électrisées se déplacent suivant les lignes de force jusqu'à ce qu'elles atteignent un

corps dont le potentiel est moindre et auquel elles cèdent leur charge. Ces particules ne peuvent être confondues avec les électrons ; car les électrons positifs et négatifs ont des masses différentes. Si ces électrons étaient les véhicules de l'électrisation, ils éprouveraient dans leur mouvement à travers l'air des résistances différentes, et, par suite, le signe de l'électrisation de la pointe aurait une influence sur la répartition des potentiels. L'expérience prouve qu'il n'en est rien.

Le courant de convection se produit dans tout l'espace qui entoure la pointe.

Cependant, si on saupoudre de poudre de lycopode la feuille de métal placée sur le sol, la figure de Kundt se présente sous forme d'un cercle nettement délimité, à l'intérieur duquel la poudre adhère au métal. Dans l'obscurité, cette portion de la surface du métal paraît recouverte de lueurs ; l'air électrisé porte donc le métal dans cette région à un potentiel assez élevé pour que les lueurs se produisent. Il semble donc que ce cercle représente la limite du courant de convection. Cela ne peut être, car la circonférence de cercle n'est pas une ligne de courant, mais une ligne équipotentielle. Cette circonférence limite seulement la région où le potentiel atteint la valeur suffisante pour produire les lueurs.

Les sondes ne donnent pas le véritable potentiel de l'air, surtout quand ce dernier est faible : les appareils à écoulement donnent des indications plus exactes et permettent de suivre plus loin les surfaces équipotentielles et de vérifier que la décharge se fait tout autour de la pointe.

Si on place sur le trajet des lignes de courant une plaque isolante, une plaque de verre, par exemple, on obtient derrière cette plaque une région non électrisée (ombre électrique).

Lorsqu'on pratique une ouverture dans le parquet, le système des lignes de courant et des lignes équipotentielles se continue à travers cette ouverture pourvu que son diamètre atteigne 1 cm. Mais elles sont interceptées par une toile métallique à mailles serrées.

La répartition des potentiels entre deux pointes reliées chacune à l'un des pôles de la machine est aussi à peu près celle que prévoit la théorie, quand on empêche la déperdition en recouvrant les pointes de verre. Si la déperdition se fait librement, cette répartition prouve que l'air électrisé se déplace de la même manière, qu'il soit positif ou négatif. Les vents électriques émanés des deux pointes peuvent se traverser et il en résulte la formation de tourbillons. Dans les régions où se trouvent à la fois de l'air électrisé positif et de l'air électrisé négatif, l'air paraît se comporter comme un conducteur.

On peut se faire une idée de la proportion des deux électrisations, en étudiant la vitesse de décharge de deux conducteurs placés à la même distance verticale des pointes et possédant primitivement des charges égales, mais de signe contraire.

Les vents électriques issus des deux pointes ne se neutralisent que partiellement ; une grande partie atteint les parois de la salle, sans modification. Les particules électrisées suivent, non pas les lignes de force du champ existant avant la décharge, mais celles du champ qu'elles créent elles-mêmes, et qui est très différent du premier.

Si les quantités d'électricité fournies aux deux électrodes sont inégales, l'air électrisé par l'électrode la plus chargée vient entourer l'autre.

Entre deux sondes qui se trouvent toutes deux dans le même vent, soit positif, soit négatif, on observe un courant qui dure seulement jusqu'à ce que la sonde qui se trouve au point dont le potentiel est le plus bas, ait pris le même potentiel que l'autre. Entre deux sondes dont l'une se trouve dans le vent négatif, l'autre dans le vent positif, on observe un courant permanent.

Les courants alternatifs ne produisent ni vent électrique, ni conductibilité apparente de l'air.

M. L.

***Décharges à travers les gaz raréfiés dans les récipients de grandes dimensions***, par **O. Lehmann**. *Drude's Ann.*, VII, p. 1-29, janvier 1902.

Dans les récipients de grandes dimensions, les lois de la décharge sont beaucoup plus simples que dans les tubes étroits employés d'ordinaire à leur étude [1].

[1] La plupart des expériences décrites dans ce mémoire ont été effectuées avec un œuf électrique, formé par deux cloches tubulées mastiquées par leur base : sa longueur est de 65 cm ; son diamètre de 32 ; les élec-

A partir de la plus faible valeur de l'intensité du courant, la décharge se fait sous forme de lueurs, caractérisée par l'absence du filet de lumière positive ; cette forme subsiste jusqu'à ce que l'intensité ait acquis une valeur suffisante pour que la décharge se transforme en décharge par arc. Dans ces grands récipients on peut faire descendre la différence de potentiel jusqu'à 360 volts et porter la longueur de la région cathodique obscure jusqu'à 30 cm, limites qu'on est bien loin d'atteindre dans les tubes étroits.

L'intensité du courant influe sur les dimensions de la région obscure et non pas seulement la pression du gaz ; on le vérifie en partageant l'œuf électrique en deux moitiés par une cloison métallique percée d'une ouverture et faisant passer dans l'une des moitiés un courant intense ; dans l'autre un courant plus faible. La cloison forme la cathode pour les deux. La pression est la même de part et d'autre de la cloison ; cependant les dimensions de la région cathodique obscure sont beaucoup plus grandes du côté où le courant est le plus faible.

Quand on diminue la différence de potentiel, la décharge cesse, à un moment donné, d'être visible ; cependant la différence de potentiel ne subit pas d'augmentation brusque, comme il arrive quand le courant cesse de passer. Et on peut provoquer de nouveau la décharge lumineuse en établissant au voisinage de l'œuf un champ magnétique dont les lignes de force soient parallèles aux lignes de courant ; la décharge reste ensuite lumineuse, même après la suppression du champ magnétique. Si les lignes de force magnétiques étaient perpendiculaires aux lignes de courant, le champ empêcherait la décharge au lieu de la favoriser.

Un condensateur de grande capacité, dont les armatures sont reliées aux électrodes par des conducteurs sans résistance notable, se décharge, quand la différence de potentiel n'est pas grande, d'une manière en apparence continue. Si on augmente la différence de potentiel, il se produit des décharges par étincelles qui remplissent l'œuf d'une lumière blanche éblouissante. Comme ci-dessus, on peut provoquer ces décharges sous une différence de potentiel inférieure par un champ magnétique convenablement dirigé.

La lueur positive, quand l'intensité est faible, recouvre la surface de l'anode d'une couche uniforme ; quand l'intensité augmente, l'épaisseur de cette lueur augmente du côté qui regarde la cathode et forme finalement une saillie de forme à peu près hémisphérique. Quand la pression de l'air est un peu forte, il se forme des masses lumineuses isolées, qui souvent prennent un mouvement de rotation et l'anode paraît entourée d'un anneau brillant.

La lueur positive, dans un grand nombre de cas, pénètre jusque dans la région cathodique obscure. Quand l'intensité est forte, la lueur positive émet des rameaux qui tendent à gagner la limite postérieure de la région obscure ; la position de ces rameaux est d'ailleurs extrêmement instable et se modifie sous l'action d'un aimant, même éloigné.

En produisant un champ magnétique dont la direction est perpendiculaire à la droite qui joint les centres des électrodes, on voit beaucoup plus nettement la marche de la lumière positive ; elle est attirée vers la paroi par l'action du champ magnétique et se dirige le long de cette paroi vers la cathode ; au voisinage de celle-ci, elle se bifurque et se termine par deux nappes hémicylindriques, entourant la lueur négative ; cette dernière est formée de deux cylindres bleuâtres, s'étendant de la région obscure jusqu'à la paroi.

Si le champ magnétique est parallèle à l'axe des électrodes, la lumière positive forme un anneau qui entoure la région obscure ; l'aspect d'ensemble prouve que l'intensité du courant est notablement plus grande dans la direction des rayons positifs que dans la direction perpendiculaire.

Un champ magnétique parallèle à l'axe des électrodes ne favorise pas toujours la production de la décharge ; si le champ dépasse une certaine intensité, la décharge cesse, ou du moins, l'intensité du courant subit une brusque diminution.

Tandis que les électrodes secondaires ou sondes produisent, dans les tubes étroits, une perturbation plus ou moins marquée dans la décharge, cette perturbation est insignifiante dans les grands récipients. Au voisinage d'une toile métallique isolée ou d'un filtre de porcelaine, placé

trodes sont des boules d'aluminium de 7 cm de diamètre, dont les centres sont éloignés de 50 cm, les tiges qui supportent ces électrodes sont enveloppées de tubes de verre, de manière que la décharge se fasse seulement par la surface de la boule.

sur le trajet de la décharge, ne se produit aucune région obscure. Mais si on dispose deux toiles métalliques, réunies à l'extérieur du récipient par un conducteur, il se forme une région cathodique obscure, d'autant mieux développée que la communication extérieure est plus conductrice.

Sous l'action d'un champ magnétique axial, la décharge négative paraît traverser sans modification, plusieurs diaphragmes de toile métallique, même quand ils sont reliés au sol. Mais elle ne traverse pas un diaphragme d'aluminium battu.

Lorsque des diaphragmes percés d'une ouverture se trouvent sur le passage de la décharge, on observe dans les ouvertures, des aigrettes brillantes qui, du côté de l'anode, ont les propriétés de la décharge négative, du côté de la cathode, les propriétés de la décharge positive. Si les diaphragmes eux-mêmes servent d'électrodes, un faisceau de rayons-canal part de l'ouverture de la cathode vers la partie libre du récipient.

Dans le champ magnétique, la lumière négative est souvent stratifiée, surtout quand on emploie comme électrodes les diaphragmes en toile métallique.

Si le diaphragme sert de cathode, l'anode perd toute lumière et l'œuf est rempli par la lueur négative bleuâtre dans toute la moitié qui renferme l'anode ; cette lueur est séparée du métal par la région obscure, qui présente partout la même épaisseur. L'autre moitié est remplie par les rayons-canal. L'épaisseur de la région obscure s'accroît d'elle-même avec le temps et elle finit par atteindre l'anode, qui est alors enveloppée de lumière bleue.

Des décharges de sens contraire peuvent se pénétrer mutuellement, qu'elles soient toutes deux sous forme de rayons-canal, ou de rayons de lumière négative, ou l'une sous forme de rayons-canal, l'autre sous forme de rayons négatifs. Dans le champ magnétique, si les lignes de force ne sont pas exactement parallèles à l'axe des électrodes, il n'y a pas pénétration des deux faisceaux négatifs ; mais ils se propagent sur une assez grande distance côte à côte, comme si chacun voulait atteindre l'anode que l'autre a traversée. A l'endroit où ils traversent l'anode, se produit une petite accumulation de rayons, dont la couleur varie beaucoup avec l'intensité du champ magnétique ; elle passe quand on augmente cette intensité, par le bleu, le violet, le vert foncé, le vert jaunâtre, le jaune rougeâtre et le blanc jaunâtre.

Si la cathode est concave, on observe au voisinage du centre de courbure, une concentration de lumière, les limites de la région obscure s'en rapprochent de plus en plus quand on diminue la pression et finalement enveloppe le point de convergence.

Dans une électrode cylindrique dont le fond est percé d'une ouverture faisant face à la deuxième électrode, il se forme un tube lumineux à l'intérieur de l'électrode, pénétrant par l'ouverture ; dans l'ouverture même on observe une couche de lumière positive en forme de pinceau et de couleur rougeâtre. Si on établit un champ magnétique parallèle à l'axe du cylindre, le tube se raccourcit d'autant plus que l'intensité du champ est plus grande. Avec une raréfaction suffisante de l'air, on ne voit plus dans l'intérieur du cylindre qu'un faisceau de rayons-canal.

Si les électrodes sont concentriques, et la cathode à l'intérieur est complètement fermée, la décharge perce dans le couvercle, un trou de 2 mm de diamètre, par lequel s'échappe un faisceau de lumière bleu intense. Ce faisceau rencontrant l'aluminium de l'électrode extérieure, produit une phosphorescence d'un rouge jaunâtre, d'un aspect tout particulier. La décharge est intermittente, à intervalles assez longs. Si la cathode est à l'extérieur, il se forme en dehors et en dedans une région obscure ; cette région s'amincit sur la surface intérieure du fond du cylindre et de ce point part la lueur négative jusqu'à l'anode. De l'ouverture de la cathode part une aigrette de lumière positive, stratifiée, dont la forme dépend de celle de la région obscure qui entoure les bords de l'ouverture. Si l'ouverture est fermée par un couvercle d'alunium, les phénomènes lumineux se limitent à l'espace compris entre les deux électrodes.

L'action du champ magnétique est relativement très faible quand les électrodes sont concentriques [1].

M. L.

---

[1] Au mémoire original sont annexées deux planches renfermant plus de cent figures en couleur qui reproduisent les apparences variées de la décharge.

***Décharge électrique spontanée d'après la théorie des ions***, par **J. Stark**. *Drude's Annalen*, t. VII, p. 919-932, avril 1902.

Dans la théorie des ions, la décharge à travers un gaz suppose toujours la présence d'ions libres dans ce gaz. Si ces ions ont été mis en liberté aux dépens de l'énergie du champ électrique, sans l'intervention d'autre ionisant (rayons cathodiques, rayons ultra-violets, etc.), la décharge est dite spontanée.

Supposons que dans un gaz se trouvent deux électrodes et que le gaz ne renferme qu'un nombre d'ions négligeable, produits par les causes étrangères. Tant que la différence de potentiel entre les deux électrodes est petite, le gaz se comporte comme un isolant. Entre les deux électrodes, existe un champ électrique, dont la répartition et l'intensité peuvent se déduire des lois de l'électrostatique. Au delà d'une certaine valeur de la différence de potentiel, il s'établit entre les électrodes un canal conducteur, dans lequel le gaz est ionisé et où circule un courant d'intensité relativement notable. Le champ électrique est modifié : on dira qu'il prend la forme *dynamique*. La décharge spontanée sera le passage du champ électrique de la forme statique à la forme dynamique. Elle correspond au début de l'ionisation par le choc des ions en mouvement.

Quand un ion se trouve à la surface limite entre un gaz et un corps liquide ou solide, il est maintenu par une force considérable. Cette force provient ou de l'attraction électrique entre la charge de l'ion et celle du corps non gazeux, ou bien des actions chimiques : il suffit ici de se préoccuper de son existence, non de sa nature propre. Un ion ne peut s'échapper de cette surface limite, sous la seule action d'un champ électrostatique, en l'absence d'une autre cause d'ionisation. Il faut donc admettre que dans leur rayon d'activité les forces de contact sont plus puissantes que la force électrique correspondant à la chute de potentiel. On conçoit bien la possibilité théorique d'augmenter cette dernière jusqu'à vaincre les forces de contact. Mais avant que la limite soit atteinte, comme il faut aussi nécessairement augmenter le champ dans l'intérieur du gaz, il se produira dans le gaz l'ionisation par le choc des ions en mouvement et la décharge aura lieu [1].

Puisque les forces de contact maintiennent les ions à la surface de séparation d'un gaz et d'un corps non gazeux, et que l'action du champ électrostatique ne peut les arracher, la décharge spontanée a son siège dans l'intérieur du gaz : c'est le point fondamental de la présente théorie [1].

La différence de potentiel initiale est la différence de potentiel entre les électrodes qui ne peut être dépassée sans que la décharge spontanée se produise (abstraction faite des phénomènes de retard à la décharge). La décharge se produit quand la chute de potentiel le long du trajet libre moyen d'un ion positif au voisinage de l'électrode est égale à la tension d'ionisation de cet ion [2].

(1) La chute de potentiel qu'il faudrait atteindre doit être très grande : si en effet on contrarie l'ionisation en plaçant les deux électrodes dans un tube étroit et raréfiant beaucoup le gaz, on peut établir entre ces deux électrodes une différence de potentiel très grande sans que la décharge spontanée se produise.

(1) Dans la plupart des expériences, la décharge paraît commencer à l'une des électrodes et se propager ensuite vers l'intérieur du gaz ; mais rien ne s'oppose à ce qu'il en soit autrement et que la décharge commence en un point intérieur du gaz, c'est sans doute ce qui arrive quand la décharge se produit entre deux disques de grande surface parallèles et peu écartés l'un de l'autre.

Il est facile de se rendre compte aussi que la décharge c'est-à-dire l'ionisation se fasse de préférence à l'une des électrodes ; il faut en effet que l'une des électrodes fournisse au gaz de nombreux ions pour provoquer l'ionisation dans l'intérieur de la masse.

L'ionisation doit être double puisque des ions positifs et négatifs doivent constamment affluer à l'électrode ou s'en échapper : il faut que les ions d'un signe déterminé soient constamment reproduits par les chocs des ions de l'autre signe. La décharge spontanée dépend alors de la tension d'ionisation de l'ion positif (cf. le mémoire précédent).

(2) Soit $V(x, y, z)$ la fonction qui représente le potentiel en un point situé entre les électrodes : cette fonction est définie par les lois de l'électrostatique ; prenons comme axe des $x$ la direction suivant laquelle se déplacent les ions, et comme origine le point où commence la décharge. Soit $V_e$ la valeur de V sur l'électrode d'où part la décharge ($x = y = z = 0$) ; $V_0$ sa valeur sur l'autre électrode. Si $\lambda_p$ est le trajet moyen de l'ion positif, la différence $V_e - V(\lambda_p, 0, 0)$ représente la chute de potentiel le long de ce trajet moyen. Si $\Delta V_m$ est la tension d'ionisation de l'ion positif, $V_a$ la différence de potentiel initiale, il faut que :

$$V_a = V_e - V_0$$
$$\Delta V_m = V_e - V(\lambda_p)$$

d'où ;

$$V_a = \Delta V_m + V - (\lambda_p) V_0$$

$\Delta V_m$ doit être regardé comme à peu près indépendant de

La différence de potentiel initiale dépend de la forme du champ électrique, par suite des dimensions et de l'écartement des électrodes, du voisinage des autres conducteurs, de la valeur du potentiel sur chacune des électrodes, et enfin du trajet moyen des ions positifs. Si l'électrode d'où part la décharge est l'électrode positive, la différence de potentiel initiale est comme la tension d'ionisation indépendante de la matière de l'électrode : si cette électrode est négative, la différence de potentiel initiale dépend de la matière de l'électrode, comme la chute de potentiel à la cathode. Elle varie aussi avec la nature chimique du gaz, puisque $\lambda_p$ et $V_m$ varient. Enfin comme $\Delta V_m$ est, toutes choses égales d'ailleurs plus grand à l'anode qu'à la cathode, il en est de même de $V_a$.

La différence de potentiel initiale est toujours plus grande que la différence minima nécessaire pour entretenir la décharge. Après le commencement de la décharge, le champ est plus intense dans la direction anode-cathode et la chute de potentiel sur le trajet moyen $\lambda_p$ peut devenir égale à la tension d'ionisation par une plus petite différence entre les électrodes.

Les données expérimentales sont fort incomplètes : elles portent sur la différence de potentiel explosive, sur la différence de potentiel initiale et minima dans la décharge par les pointes.

L'auteur applique sa théorie au cas d'une sphère portant une charge uniforme : la fonction V est alors connue (1).

---

la pression du gaz ; mais sa valeur est plus grande à l'anode qu'à la cathode.

(1) Soit $e$ la charge totale de la sphère, $r$ son rayon, $\rho$ la distance d'un point à son centre ; en admettant que le trajet libre des ions soit inversement proportionnel à la pression du gaz, on obtient :

$$\frac{e}{r} = \Delta V m + \frac{pe}{pr + k}$$

Si $r$ est regardé comme constant ainsi que la charge, la décharge se produira quand la pression du gaz sera :

$$p = \frac{k}{r.\,\Delta V m}\left(\frac{e}{r} - \Delta V m\right)$$

Si la charge et la pression sont constantes et que le rayon $r$ varie (goutte d'eau qui s'évapore progressivement), la décharge se produira par la valeur du rayon :

$$r = -\frac{k}{2p} + \sqrt{\frac{ke}{p.\,\Delta V m} + \frac{k^2}{4p^2}}$$

La plus petite valeur de la différence de potentiel initiale correspond à la condition $V_{\lambda_p} - V_0 = 0$ ; elle exprime que le trajet libre de l'ion positif doit s'étendre de la cathode à l'anode. Cette différence de potentiel initiale est égale à la chute de potentiel à la cathode. Cette valeur doit être atteinte pour que la décharge se produise même par une pointe très aiguë.

Si les deux électrodes sont des sphères distantes d'une longueur $l$, on trouve

$$V_a = \Delta V_m \frac{lp}{k}$$

Le quotient $\frac{V}{l_p}$ est constant : cette relation a été signalée par Paschen.

Si les électrodes sont l'une un disque, l'autre une pointe, les différences de potentiel initiales pour la décharge positive et négative par la pointe sont, toutes choses égales d'ailleurs, dans un rapport constant : ce rapport est égal à celui des tensions de dissociation de l'ion positif dans l'intérieur du gaz et au contact du métal de la pointe. M. L.

***Mouvement d'une particule électrique dans un champe électromagnétique uniforme***, par **E. Riecke**. *Drude's Annalen*, t. VII p. 401-407, fév. 1902.

Aux constantes d'intégration $a_1$, $b_1$ introduites dans le mémoire précédent (1) l'auteur substitue les vitesses initiales de la particule $c_0^f$, $c_0^n$ suivant les directions F et N.

Lorsque l'intensité du champ magnétique tend vers O, l'équation de la trajectoire de la particule devient :

$$f = \frac{\varepsilon F}{2\mu} t^2 + c f_0 t + \text{const.}$$

c'est une parabole dont l'axe est parallèle à la force électrique.

Si l'intensité du champ électrique tend vers O, la particule décrit une hélice autour de la direction de la force magnétique : le cercle, projection de cette hélice a pour diamètre

$$\frac{\varepsilon H}{v \mu}\sqrt{c_0^{y2} + c_0^{n2}}$$

le pas est égal à :

$$2\pi \frac{v \mu}{\varepsilon H} c_0^h$$

la durée d'un tour :

$$2\pi \frac{v \mu}{\varepsilon H}$$

---

(1) *Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 298, août 1901.

$c_0^h$ est la vitesse initiale suivant la direction H
$c_0^y$ la vitesse initiale suivant O$y$ perpendiculaire à H et à N.

Dans le cas général, en supposant les deux champs perpendiculaires l'un sur l'autre, on trouve que la particule décrit un cercle dont le centre se déplace sur la direction ON avec la vitesse $-\frac{\nu F}{H}$;

le rayon de ce cercle est égal à :

$$\frac{\nu\mu}{\varepsilon H}\sqrt{\left(c_0^n + \frac{\nu F}{H}\right)^2 + c_0^{f2}}$$

la durée d'une révolution,

$$2\pi\frac{\nu\mu}{\varepsilon H}$$

la vitesse linéaire le long de la circonférence :

$$\sqrt{\left(\frac{\nu F}{H} + c_0^n\right)^2 + c_0^{f2}}$$

Cette vitesse peut être plus grande ou plus petite en valeur absolue que la vitesse de translation $\frac{\nu F}{H}$ du centre du cercle. La trajectoire se projette sur le plan (F N) perpendiculaire à la force magnétique, suivant une cycloïde, raccourcie dans le premier cas, allongée dans le second. Si $= c_0^n\, c_0^f = 0$, la projection est une cycloïde ordinaire.

Si les directions des deux champs font entre elles un angle différent de 90°, le cercle devient une ellipse.

Si les directions des deux champs coïncident la projection de la trajectoire sur un plan perpendiculaire à la direction commune est un cercle dont le rayon est

$$a_1 = \frac{\nu\mu}{\varepsilon H}c_0^n.$$

Le centre de ce cercle se déplace sur la direction des champs avec un mouvement uniformément accéléré, dont la vitesse est égale à

$$c_0^n + \frac{\varepsilon F}{\mu}t.$$

La particule décrit une hélice dont le pas croît uniformément avec le temps. M. L.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## ACADÉMIE DES SCIENCES

*Séance du 26 mai 1902.*

***Récepteur de télégraphie sans fil***, par **Edouard Branly**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1197-1199.

L'auteur décrit un appareil récepteur dans lequel il est fait usage du cohéreur à contact unique qu'il a présenté antérieurement ([1]).

Rappelons que ce cohéreur est formé de trois pointes en acier oxydé reliées par un disque métallique supérieur et reposant sur un plan d'acier poli. D'après les essais de l'auteur, le contact *métal oxyde-métal poli* utilisé dans ce cohéreur est beaucoup plus constant que les multiples contacts, mal définis, des particules des *tubes à limaille* ([2]).

Dans le récepteur décrit, ce cohéreur est disposé sur un petit support qui porte aussi la vis de butée inférieure de l'armature mobile d'un récepteur Morse. Un des pôles d'une pile de 0,5 volt est relié à la vis de butée supérieure ; le courant traverse cette vis, passe par une lamelle de platine soudée à la palette mobile, se rend au relais (relais Claude), puis à une résistance variable et au disque d'acier ; il traverse les contacts métal poli-métal oxydé et retourne à la pile.

Quand une onde hertzienne arrive sur le cohéreur, le relais est mis en action et la pile du circuit commandée par ce relais fait fonctionner le Morse ; le circuit du cohéreur est alors rompu. Quand l'armature du Morse vient frapper la vis de butée inférieure, le choc décohère le cohéreur. Quand le ressort antagoniste du Morse a réappliqué l'armature contre la vis de butée supérieure, les ondes hertziennes peuvent agir de nouveau.

On voit que le *frappeur* est ainsi supprimé. De plus, comme un choc très faible suffit pour décohérer, on peut réduire beaucoup la course

([1]) *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 330, 1er mars 1902.

([2]) Le degré d'oxydation des pointes et le poli du disque jouent un rôle essentiel. En réglant la température de l'étuve où l'on produit l'oxydation, on dirige à volonté cette oxydation, ce qui permet d'obtenir sûrement la sensibilité cherchée.

de l'armature du Morse en rapprochant les deux vis de butée, et augmenter ainsi la vitesse de transmission.

Pour soustraire le cohéreur à l'influence des étincelles du transmetteur de son propre poste, on dispose au-dessus du trépied un électro-aimant qui soulève les pointes pendant le fonctionnement du transmetteur.

***Sur la décharge électrique dans la flamme***, par **Jules Semenov**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1199-1201.

L'auteur décrit les résultats de diverses expériences de décharges faites soit entre deux becs de gaz, soit entre un bec de gaz et unepointe métallique respectivement reliés aux deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff [1]. Ces résultats le conduisent aux conclusions suivantes :

1. Le pôle négatif s'échauffe beaucoup plus que le pôle positif.

2. Du pôle positif vers le pôle négatif, et toujours dans un seul sens, il se fait un véritable transport de particules matérielles qui suivent toutes les sinuosités de l'étincelle.

3. Le pôle négatif est le siège d'un phénomène de reflux de particules matérielles dont la direction paraît indépendante de la position relative des deux pôles.

***Sur la température de l'arc électrique***, par **Ch. Féry**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1201-1204.

C'est M. Violle qui a démontré le premier que la température du cratère de l'arc est indépendante de l'intensité du courant, comme

(1) « I. — Avec deux becs de Bunsen ordinaires, donnant des flammes de 10 cm environ de hauteur, on voit jaillir des étincelles entre les deux flammes.

» L'étincelle part de l'orifice du bec relié au pôle positif de la bobine, suit la gaine extérieure obscure de la flamme, puis en sort, un peu au-dessus du sommet du cône intérieur, dans la direction normale à la flamme négative, pour s'arrêter à une distance de plus de 1 cm environ de la partie visible de cette flamme. La dissymétrie des pôles est toujours très nette, quel que soit le sens du courant primaire.

» L'étincelle reprend son aspect habituel seulement à la sortie de la flamme positive. Dans la flamme même, l'étincelle se traduit par un point brillant sur l'orifice du bec et par un plus grand éclat de la région comprise entre ce point brillant et le point où l'étincelle sort de la flamme. La lueur de cette région rappelle l'état lumineux d'un tube Geissler, à vide peu avancé.

» II. — Comme le courant gazeux du bec Bunsen est très fort, il est plus avantageux d'opérer avec des flammes petites. Je me suis servi, à cet effet, de petits tubes en cuivre de 0,5 mm de diamètre intérieur, qui donnent des flammes fines dont on peut faire varier la hauteur de 1 mm à plusieurs centimètres. En faisant passer la décharge d'une bobine d'induction entre une flamme pareille et une pointe placée au-dessus d'elle, j'ai pu constater les faits suivants :

» 1. La décharge passe par la gaine extérieure obscure de la flamme en la rendant lumineuse. Si la flamme est très petite, toute la gaine s'illumine et forme autour de la flamme une véritable enveloppe bleu violacé. Cette enveloppe monte jusqu'à la pointe et atteint des dimensions très considérables par rapport à la flamme. Lorsque, peu à peu, on augmente la flamme, l'enveloppe lumineuse diminue et s'amincit ; quand le sommet de la flamme vient à dépasser l'électrode opposée, la partie de la flamme située au-dessus de cette électrode se trouve complètement dépourvue de sa gaine extérieure. Il en résulte une combustion incomplète du charbon qui se dépose en abondance sur le côté supérieur de l'électrode.

» 2. Pendant la décharge, la pointe s'échauffe très fortement quand elle fait office de pôle négatif ; elle s'échauffe sensiblement moins lorsqu'elle est reliée au pôle positif de la bobine.

» 3. Du pôle positif au pôle négatif il se fait un transport de particules matérielles, arrachées de l'électrode même ou du milieu environnant. Mais il n'y a pas de transport dans le sens contraire. Fait-on passer la décharge entre une petite flamme et un fil de platine soudé dans du verre, toute l'enveloppe extérieure de la flamme se colore en jaune, quand le fil de platine est positif, mais elle reste incolore si le fil est négatif. Ce flux anodique produit sur la cathode un reflux de particules matérielles, phénomène qui se manifeste par le dédoublement de la flamme. Ce dédoublement se produit d'une façon particulièrement nette lorsque le plan de l'orifice du bec de gaz n'est pas perpendiculaire à son axe, cette disposition rendant fixe le point d'aboutissement du flux anodique. Les deux flammes n'ont pas le même éclat. L'une, plus sombre, donne passage au flux, tandis que l'autre, plus brillante et, en même temps, plus courte, se dirige, sous un certain angle, du côté opposé au flux anodique, paraissant ne prendre aucune part à la décharge.

» Quand le bec est relié au pôle positif de la bobine, la flamme se raccourcit et devient très brillante, mais ne se dédouble jamais. Sur l'électrode opposée, le reflux cathodique se manifeste par une répulsion de la flamme, ce qui masque l'attraction entre la flamme et le pôle contraire. On constate ce phénomène en faisant la flamme assez longue (5 à 6 cm) et en prenant pour pôle opposé une boule métallique, placée tout près de la flamme, au milieu de sa hauteur, sans pourtant la toucher. Quand la boule est pôle positif, la moitié supérieure de la flamme, dépourvue de sa gaine extérieure, vient s'étaler sur le sommet de la boule, y déposant une forte couche de charbon ; mais, lorsque la boule est négative, la flamme reste droite, comme si la boule n'exerçait pas d'attraction, laquelle pourtant, existe. On la met en évidence en poussant la boule jusqu'à la région brillante de la flamme. Dans ce cas, la partie supérieure de la flamme s'étale toujours sur la boule, quel que soit le sens du courant.

représentant un changement d'état physique (ébullition du carbone); cette remarque donne à la détermination de la température du charbon positif de l'arc une importance assez grande.

Ce n'est, on le sait, que par extrapolation de lois physiques bien étudiées qu'on est arrivé à l'évaluation de cette température. M. Violle trouve 3500°, par extrapolation de la loi de variation de la chaleur spécifique du carbone. MM. Wilson et Gray, en extrapolant la courbe représentant le rayonnement de l'oxyde de cuivre, arrivent à 3400° [1]. M. Le Chatelier indique 4100° en étudiant par son pyromètre optique l'émission lumineuse ($\lambda = 0^{\mu},659$) des corps noirs. M. Wanner, en extrapolant les droites isochromatiques du charbon des lampes, trouve 3427° pour les charbons à mèche et 3577° pour le charbon de cornue [2]. L'auteur a lui-même retrouvé une valeur identique à celle qui a été obtenue par M. Violle, en appliquant la loi de Stéfan [3].

Il lui a semblé intéressant de contrôler ce résultat par l'emploi d'une autre méthode [4] qui, ainsi qu'il ressort de l'exposé ci-dessous, l'a conduit à des valeurs assez différentes de celles

[1] *Proceedings of the Royal Society*, t. LXIII, 1895, p. 24-36.

[2] *Annales de Chimie et de Physique*, t. II, 1900, p. 156.

[3] *Comptes rendus*, 28 avril 1902.

[4] « Je me suis servi des formules récemment indiquées comme représentant l'allure du rayonnement en lumière monochromatique.

» Ces formules sont des exponentielles; j'ai choisi celle de Wien : $I_0 = C\lambda^{-5}e^{-\frac{c\lambda}{\theta}}$. Les différentes lois proposées ne diffèrent d'ailleurs que pour de très grandes valeurs de la longueur d'onde.

» Au point de vue expérimental, le pyromètre optique de M. Le Chatelier semble tout indiqué, mais il devient peu commode lorsque les écarts de température sont grands. Il est nécessaire, on le sait, dans cet appareil où l'équilibre photométrique est obtenu par une lentille à œil-de-chat, d'interposer des verres absorbants devant la source lumineuse lorsque le rayonnement de celle-ci devient trop considérable.

» Pour éviter la répétition de cette manœuvre, qui introduit des causes d'erreur qui se totalisent, je ramène l'équilibre photométrique au moyen d'un prisme de verre absorbant très aigu.

» La loi de l'absorption étant elle-même une exponentielle $I = I_0 e^{-Kx}$, il est facile de voir que, au moment de l'équilibre photométrique, on a

$$Kx = \frac{B}{\theta} + C.$$

» Les constantes K, B et C sont fonction de la longueur d'onde, de l'angle du prisme et de la nature du verre employé.

» En d'autres termes, *l'épaisseur* x *du prisme*, proportionnelle à son déplacement, *est aussi proportionnelle à l'inverse de la température absolue* $\theta$ du corps supposé noir qu'on étudie.

» Cette relation a été vérifiée pour deux longueurs d'onde : rouge $\lambda = 659$ et verte $\lambda = 562$, données par des verres convenables.

» Le verre vert employé est à base d'urane; il laisse passer les trois bandes étroites suivantes sous l'épaisseur de 1 cm employée dans ces expériences : rouge $0^{\mu},726$ à $0^{\mu},680$; jaune vert, $0^{\mu},572$ à $0^{\mu},555$; et verte $0^{\mu},525$ à $0^{\mu},512$. L'adjonction d'un verre vert ordinaire supprime la bande rouge et atténue beaucoup la dernière bande verte. On peut admettre que la mesure porte sur $0^{\mu},562$.

» Voici les résultats provenant de la comparaison de ce pyromètre à absorption avec un couple platine-platine rhodié, placé dans un four à résistance de platine :

| VERRE ROUGE | | VERRE VERT | |
|---|---|---|---|
| θ (couple). | θ (pyromètre). | θ (couple). | θ (pyromètre). |
| 1100° | 1098° | 1270° | 1272° |
| 1130 | 1137 | 1340 | 1335 |
| 1180 | 1169 | 1410 | 1415 |
| 1230 | 1227 | 1470 | 1462 |
| 1290 | 1288 | 1500 | 1512 |
| 1400 | 1397 | » | » |
| 1460 | 1457 | » | » |
| 1500 | 1507 | » | » |

» Il résulte de ces mesures que la loi de Wien est vérifiée dans ces limites; la température absolue est donnée, en lumière rouge, par la formule

$$\theta = \frac{10\,000 \times 17,80}{134,7 - d},$$

*d* étant le déplacement en millimètres donné au prisme, et en lumière verte par

$$\theta = \frac{10\,000 \times 11,71}{77,8 - d}.$$

» Les déplacements obtenus par l'arc ont été de 91 mm en lumière rouge et 49 mm en lumière verte, ce qui conduirait à 3867° dans le premier cas et 3897° dans le second.

» J'ai pensé d'abord que cette divergence avec la valeur 3490° donnée par la loi de Stéfan pouvait provenir des impuretés des charbons de la lampe que j'employais.

» De nouvelles mesures ont donc été faites tant en chaleur qu'en lumière avec des charbons graphitiques très purs; elles ont donné les mêmes résultats.

» Si l'on rapproche ces nombres de celui qui a été obtenu par M. Le Chatelier, 4100°, également plus élevé, il semble que *le charbon ne se comporte plus, à son point d'ébullition, comme un corps parfaitement noir*, pour lequel seulement ces formules sont applicables. »

de M. Violle (3867 et 3897°) et qui ne peuvent s'expliquer qu'en admettant que le charbon ne se comporte plus, à son point d'ébullition, comme un corps parfaitement noir.

***Sur les modifications apportées par la self-induction à quelques spectres de dissociation***, par **A. de Gramont**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1205-1207.

Dans une note récente [1], l'auteur faisait connaître l'action d'une self-induction sur les spectres d'étincelle de l'hydrogène, de l'air, du soufre, du sélénium, du tellure et du phosphore, libres ou combinés. Avec le même dispositif expérimental, il a étudié le spectre de l'arsenic, du silicium, du thallium, etc. [1].

***Sur la conductivité électrique et sur la température du maximum de densité de quelques solutions de bromure et iodure de baryum, et de chlorure, bromure et iodure de calcium***, par **L.-C. de Coppet** et **W. Müller**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1208-1209.

Les résultats des expériences sont consignés dans le tableau suivant. Les températures sont celles du thermomètre à hydrogène. Les mesures de conductivité électrique ont été faites par M. W. Müller.

L'abaissement moléculaire de la température du maximum de densité est constant ou légèrement croissant. Comme pour les sels alcalins halogénés [1], il est plus grand pour les iodures que pour les bromures, pour les bromures que pour les chlorures [2]. Il est plus grand pour les sels de baryum que pour les sels correspondants de calcium.

Comme on devait s'y attendre, la conductivité électrique moléculaire est décroissante.

| NATURE et poids moléculaire du corps dissous. | $m$. Molécules-gramme du corps dissous dans 1000g d'eau | $t$. Température du maximum de densité. | D. Abaissement de la température du maximum au-dessous de 3°,982. | $\frac{D}{m}$. Abaissement moléculaire de la température du maximum. | $10^8 k\left(\frac{1}{\text{ohm.cm}}\right)$. Conductivité électrique à 18°. | $10^3 \frac{k}{m}$. Conductivité électrique moléculaire à 18°, | CONDUCTIVITÉ électrique moléculaire à la température $t_m$. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ° | ° | ° | | | |
| Bromure de baryum | 0,0403 | 2,969 | 1,013 | 25,14 | 747 | 186 | 127 |
| $BaBr^2 = 297,3$. | 0,1631 | —0,304 | 4,286 | 26,28 | 2699 | 167 | 109 |
| Iodure de baryum | 0,0395 | 2,827 | 1,155 | 29,24 | 729 | 186 | 127 |
| $BaI^2 = 391,1$. | 0,0962 | 1,152 | 2,830 | 29,42 | 1610 | 168 | 112 |
| Chlorure de calcium | 0,0431 | 3,206 | 0,776 | 18,00 | 761 | 177 | 124 |
| $CaCl^2 = 111,0$. | 0,0744 | 2,645 | 1,337 | 17,97 | 1247 | 168 | 121 (4°) |
| | 0,1500 | 1,234 | 2,748 | 18,31 | 2366 | 158 | 105 |
| Bromure de calcium | 0,0406 | 3,157 | 0,825 | 20,12 | 747 | 184 | 125 |
| $CaBr^2 = 200,0$. | 0,1268 | 1,324 | 2,658 | 20,93 | 2136 | 169 | 112 |
| Iodure de calcium | 0,0384 | 2,980 | 1,002 | 26,09 | 733 | 191 | 132 |
| $CaI^2 = 293,8$. | 0,1166 | 0,872 | 3,110 | 26,63 | 2021 | 174 | 115 |

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXI, p. 304, 24 mai 1902.

[1] Des résultats de ces recherches l'auteur conclut : « Sans tirer des conclusions générales de ces recherches entreprises surtout au point de vue analytique, je ferai observer que ces résultats, obtenus avec les métalloïdes, confirment les conclusions et les classifications de raies fondées par M. Hemsalech sur son étude des métaux. Pour le carbone et le silicium notamment, les raies qui disparaissent très rapidement par l'action de la self, $C_3$ et $Si_4$, sont parmi les plus vives de leurs spectres. Il semblerait donc bien que, dans les vapeurs qui constituent l'auréole produite par la décharge oscillante, certains systèmes de raies d'un même corps correspondraient à des parties dissemblables, de conductibilités différentes ou, si l'on préfère, de plus ou moins facile transmission de la décharge. Ces vues, d'ailleurs, ne me sont pas personnelles et découlent aussi bien des recherches de MM. Schuster et Hemsalech que de celles de M. Zeemann, de M. Preston, de MM. Humphreys et Mohler, etc. — Je me permettrai de rappeler, en terminant, combien les idées neuves que la spectroscopie nous apporte sur la constitution de la matière sont magistralement exposées dans le récent ouvrage de Sir Norman Lockyer, intitulé : *Inorganic Evolution* (Londres, 1900).

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXII, 1901, p. 1218.

[2] L'abaissement moléculaire pour le chlorure de calcium est 24° (*Comptes rendus*, t. CXXV, 1897, p. 533).

*Le Gérant* : C. NAUD.

Tome XXXI. Samedi 21 Juin 1902. 9e Année. — N° 25.

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

# L'ÉNERGIE



## APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

Nous avons déjà décrit, dans cette série d'articles, de nombreux types de remontoirs d'horloges et de remises à l'heure actionnés par l'électricité ; c'est l'une des applications les plus anciennes de l'électricité et des plus répandues ; elle est encore activement suivie par de nombreux inventeurs qui, sans rien changer aux principes fondamentaux très simples de ces mécanismes, ne se lassent pas d'en améliorer les détails.

Tel est le cas du dispositif représenté par les figures 1 à 4, dû à l'horloger parisien bien connu H. Lepaute, et qui est remarquable par la douceur de son fonctionnement. Quand l'électro-aimant $a$ attire son armature courbe $b$, suspendue au levier $c\,c_2\,c_1$, ce levier, qui entraîne la fourche d'échappement $c_2\,d\,d$, fait tourner d'une dent la roue d'échappement $j$, qui commande directement l'aiguille des minutes et, par 1, 2, 3, 4, l'aiguille des heures ; quand le courant cesse de passer en $a$, l'armature $b$, rappelée par le contrepoids réglable $u$, revient à sa position primitive en faisant tourner $j$ d'une nouvelle dent. L'armature $b$ oscille entre deux tampons de caoutchouc $h$, qui en amortissent les chocs, et le bras $c_1$ du levier $c\,c_2\,c_1$ est relié au piston $f_1$ d'un dash-pot à mercure, dont le cylindre est pivoté en $g$. On peut ainsi facilement régler, par la position du poids $u$, la vitesse de l'armature $b$ et en réduire les chocs sur les tampons $h$, $h_1$, de sorte que le mécanisme fonctionne doucement et sans bruit.

L'horloge de Hookham, représentée par les figures 5 à 7, est commandée par un moteur à courants alternatifs, constitué par un disque en cuivre $b$, tournant entre les pôles $c_1\,d_1$ de deux électro-aimants ; l'un de ces électro-aimants est à deux enroulements : un à fils fins $e_1\,e_2$, en parallèle sur le circuit alternatif, et l'autre, secondaire, $f_1$, continué en $g$, de manière à constituer un champ magnétique exerçant sur $b$ un effort de rotation constant.

L'arbre *a* de *b* commande, par un train de pignons facile à suivre sur les figures, le ressort du barillet *n*, qui actionne le mécanisme d'horlogerie par l'intermédiaire de l'échappement *w*.

Le moteur de l'horloge de M. En. Holm est (fig. 8 à 11) constitué par un solénoïde 34 (fig. 10) relié aux bornes 41 et 42 d'un commutateur à mercure 46, dont le bras 40 est commandé par la tige 28, reliée à l'armature 23 du solénoïde 34. Ce poids entraîne dans sa chute la tige 28, et en même temps le levier 29, qui commande le remontoir de la pendule par l'encliquetage à bille 30-31. Quand 23 arrive au bas de sa course, 40 fait basculer 46 de manière que son mercure ferme le circuit 41-42 et que le solénoïde 34 remonte le poids 23,

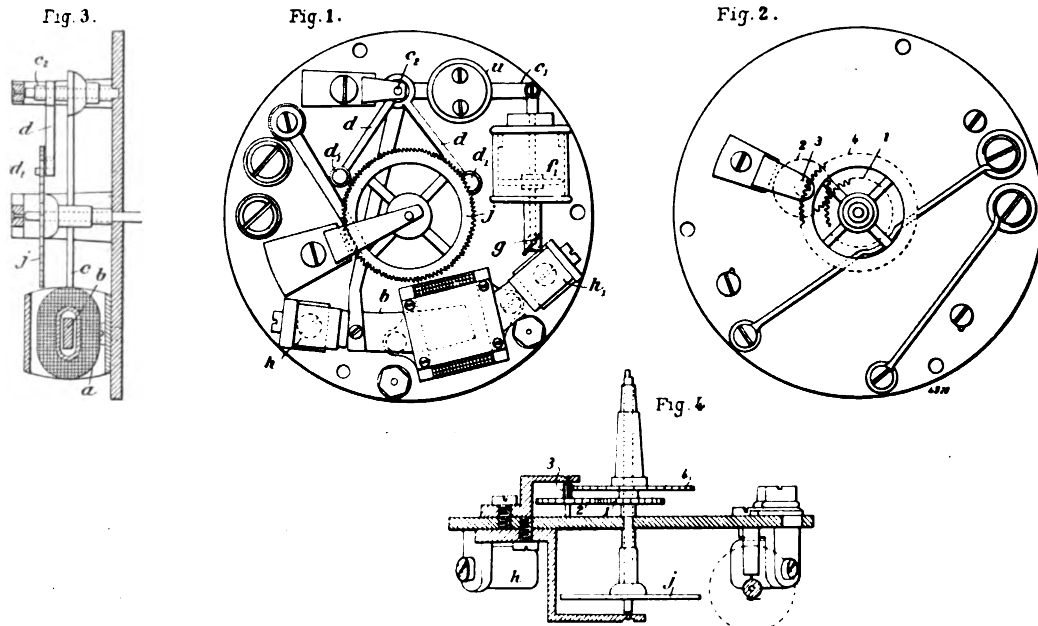



Fig. 1 à 4. — Horloge H. Lepaute (1899).

qui part pour une nouvelle descente, dès que la montée même du bras 40 rompt de nouveau le circuit 41-42.

L'horloge de M. Getty est aussi remontée par des poids soulevés au moyen d'électro-aimants. L'arbre 18 de son aiguille des minutes porte (fig. 17) deux crochets 29 et 30, entre lesquels sont montés deux leviers 31 et 32 (fig. 16 et 18), à contrepoids, fous sur 18, et attaquant 29 et 30 par les cliquets 33 et 34 (fig. 13). Le levier 31 porte un disque 36, de même diamètre que 29, avec came 37-38 et coulisse circulaire 39, de même angle au centre que 37; le disque 41 de 32 porte également une came 42-43 et une coulisse 44.

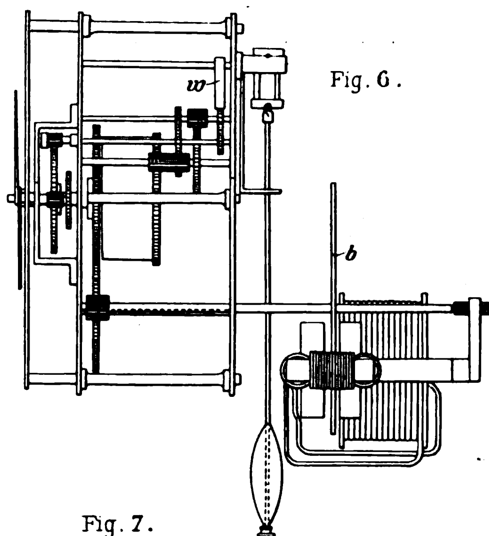
L'armature 47 de l'électro-aimant 45 est montée à pivot dans le châssis au-dessus des pôles de l'électro-aimant, et un bras 48 s'élève du côté du pivot 18 opposé au côté où se trouvent les leviers 31 et 32. Au bras 48 est reliée une bielle 49, qui s'étend en dedans entre les disques des leviers 31 et 32. En cet endroit, cette bielle porte un pivot 50, dont un bout pénètre dans la coulisse 39, l'autre dans la coulisse 44. L'autre extrémité des bobines de l'électro-aimant 45 est reliée par un fil 51 à un bras de contact 52, avec deux lamelles de contact 54, entre lesquelles est situé un taquet de contact 55, sur un levier 56, oscillant sur un pivot 57 (fig. 13 et 14).

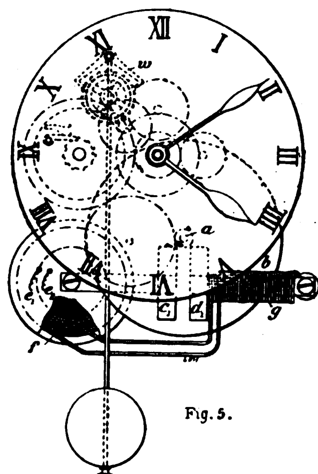
Le levier 56 tend à attaquer par son taquet 55 les lamelles 54, par pesanteur, mais pour assurer et accélérer son fonctionnement, le ressort 58 favorise la descente du levier.

Sur le pivot 57, est monté un levier d'échappement 60, relié au levier de contact 56, avec lequel il se met à l'unisson, et qui a une dent 61, s'étendant en travers des bords supérieurs des disques 36 et 46 et des roues à rochet 29 et 30 (fig. 17).

Le levier de contact 56 est relié au pôle de la batterie opposé à celui auquel est relié l'électro-aimant 45, par le levier 56, relié au châssis 17 par son pivot, tandis que ce châssis est relié à la batterie 11 par un fil 62.

La levée des leviers 31 et 32 est limitée par un bras 63, avec pivot 64, sur lequel tourne fou un arrêt 65, comprenant deux bras 66 et 67, à angle droit l'un sur l'autre, formant une mâchoire ouverte avec tampon 68. Le bras 66 est plus long que le bras 67, de sorte que l'arrêt, quand il est libre, prend toujours dans une position telle qu'elle présente sa mâchoire ouverte aux poids extrêmes au bout des leviers 31 et 32.



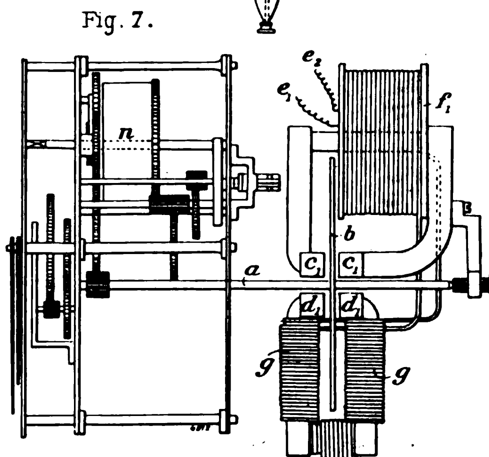




Fig. 5, 6 et 7. — Horloge Hookham commandée par un moteur à courants alternatifs (1901).

Ce mécanisme fonctionne de la manière suivante :

Les leviers lestés 31 et 32, par suite de l'enclenchement de leur ressort dans les roues à rochet 29 et 30, communiquent à l'arbre 18 un mouvement réglé par l'échappement et le balancier. Comme les leviers 31 et 32 fonctionnent simultanément en actionnant le train d'horlogerie durant tout leur mouvement, sauf pendant un petit instant, ces leviers ne sont pas parallèles, mais font entre eux un angle de 45° (fig. 13), de sorte que, quand l'un d'eux aura atteint le bout de sa course descendante, l'autre sera arrivé à peu près au milieu de sa descente.

Quand le levier inférieur 32 s'approche de la limite inférieure de sa course, la dent 61 du levier 60 glisse sur les parties circulaires 69 des roues à rochet 29 et 30, et est supportée

par elles (fig. 16, 17 et 18), tandis que les cames 37 et 42 ne s'opposent pas à sa descente.

Quand la dent 61 évite les parties circulaires 69 des roues à rochet et tombe dans les crans 70 de ces dernières, elle permet au levier 60 et au bras de contact 56 de descendre et d'établir un contact électrique entre le taquet 55 et les lames 54, de façon à fermer le circuit. Aussitôt que ce contact est établi, l'électro-aimant 45 attire son armature 47, de sorte que le bras 48 et la bielle 49 descendent. Le pivot 50 s'engage alors dans l'extrémité supérieure de la coulisse 44, et fait tourner ainsi le disque 41 sur 18, en relevant rapidement le levier 32. Par suite de ce relèvement du levier, la came 43 viendra en contact avec la dent 61, le levier d'échappement sera soulevé, ainsi que le bras de contact, et le circuit sera coupé. Cette interruption du circuit se produit quand le levier 32 a effectué à peu près la moitié de sa course ascendante, mais la force d'inertie est suffisante pour que le levier continue à monter jusqu'à ce qu'il s'engage dans le cran de la roue à rochet 30, au-dessus du cran correspondant à celui de la roue à rochet 29, dans lequel est enclenché le cliquet du levier 31.

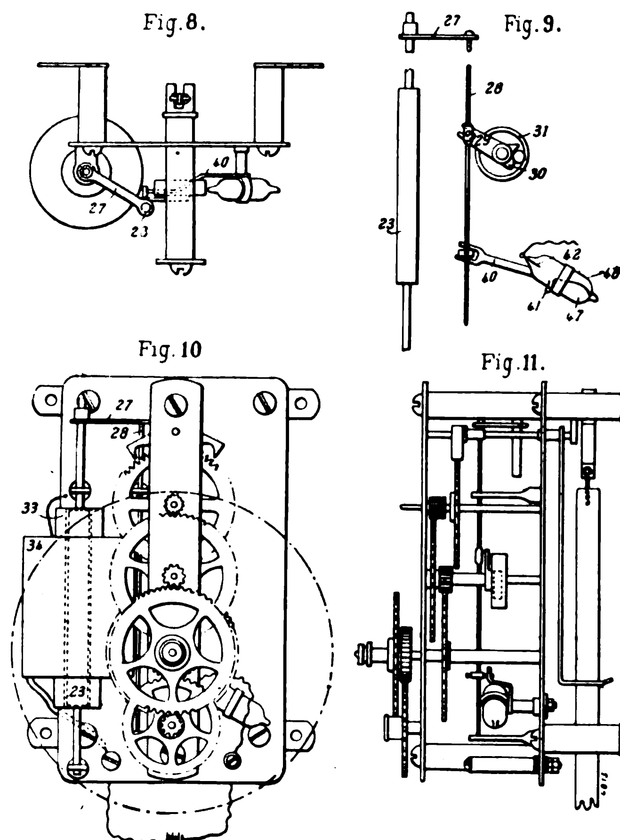


**Fig. 8 à 11. — Horloge Holm (1900).**

En d'autres termes, le levier 32 sera relevé de deux crans à chaque mouvement de montée, et le courant interrompu à la moitié à peu près de ce mouvement de montée, tandis que l'inertie du levier sert à compléter ce mouvement.

L'on voit que, pendant le relèvement du levier 32, le levier 31 a agi constamment sur le pivot 18, en le faisant tourner dans le sens voulu, de façon à maintenir normal et précis le mouvement du train d'horlogerie. Il s'ensuit que le relèvement du levier 32 ne tendra pas à retenir ou à faire rétrograder le pivot 18, ce qui aurait pour conséquence de retarder l'horloge.

Quand le levier 32 a atteint le sommet de sa course, il s'enclenche de nouveau dans la roue à rochet, et les deux leviers continuent à fonctionner ensemble en faisant marcher l'horloge jusqu'à ce que l'autre levier 31 ait atteint le bout de sa course. A ce moment, les crans des deux rochets et les parties coupées des deux moyeux coïncident de nouveau, et le levier d'échappement retombe, en permettant au levier de contact de fermer le circuit et d'exciter l'aimant. Le mouvement de l'armature et de la bielle qui y est articulée n'a, à ce moment, aucun effet sur le levier 32, car le pivot 50 se meut librement dans sa coulisse 44. Mais ce pivot s'engage dans l'extrémité de la coulisse 39, du le disque ou moyeu du levier 31 et relève ce dernier par rapport au levier 32. Le plan incliné 38 soulève le levier d'échappement, coupe le circuit, et le levier 31 complète son mouvement ascendant grâce à son moment d'inertie.

L'on voit, qu'à tout instant, le train d'horlogerie est actionné par au moins un des leviers

lestés, et il en résulte que ce train ne sera pas retardé, bien que l'effort moteur cesse d'agir et malgré le mouvement en sens inverse dû au remontage, contrairement à ce qui a lieu dans le cas d'un seul levier. L'on remarquera aussi que la prise sur la pile est fort minime, car le contact n'est pas même maintenu pendant toute la durée du mouvement ascendant du levier qui se relève, mais est interrompu après qu'une partie seulement de ce mouvement s'est effectuée.

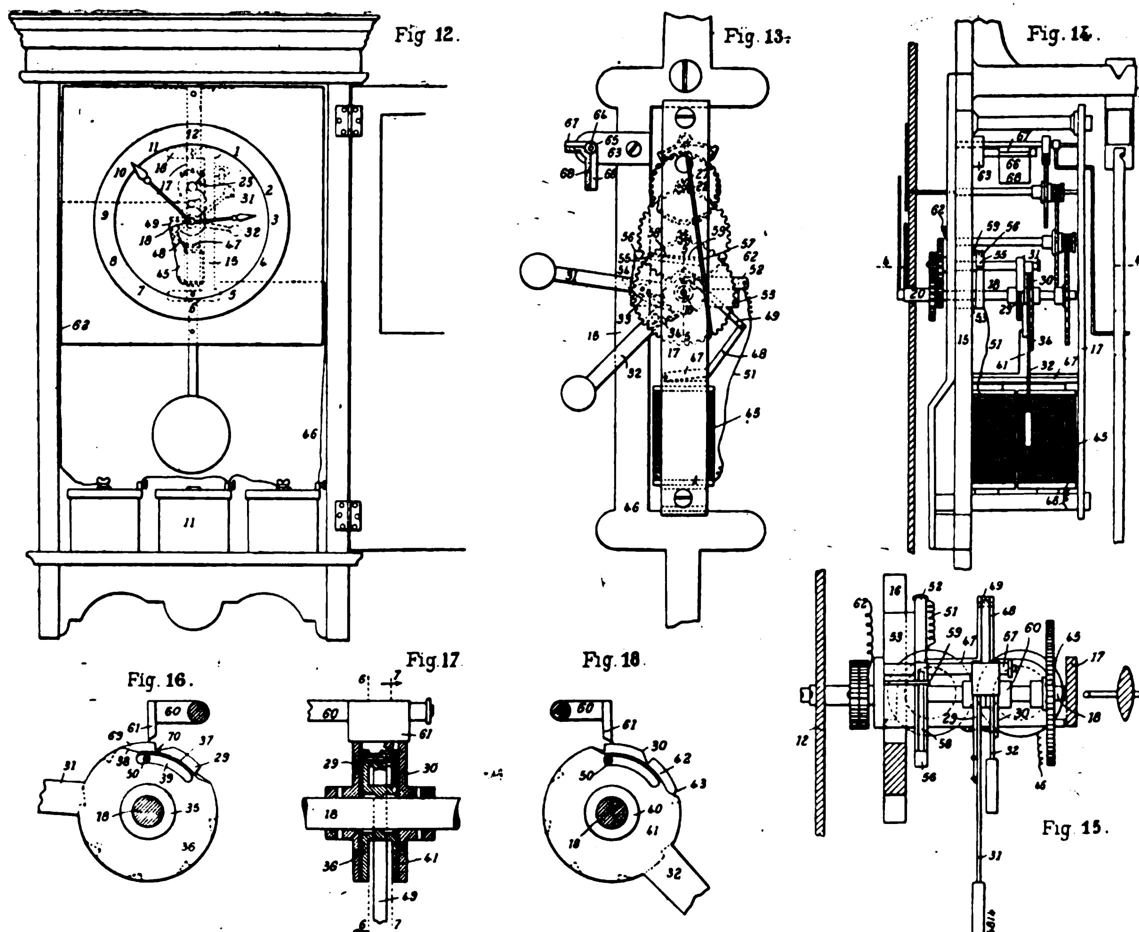



Fig. 12 à 18. — Horloge Getty (1899).

La pendule de Haenichen, représentée par les figures 16 à 24, est du type à commutateur inverseur du courant commandé par le pendule même du mécanisme d'horlogerie ; ce commutateur ouvre et ferme alternativement le circuit d'un électro-aimant dont l'armature déclenche une tige à contrepoids, dite tige d'impulsion, et qui donne aux pendules, à des intervalles réglés, l'impulsion nécessaire pour en entretenir indéfiniment le mouvement, à son amplitude normale, et ce, indépendamment des mouvements transmis par ce pendule au mécanisme d'horlogerie : aiguilles, etc.

L'électro-aimant A (fig. 21) est pourvu d'une armature $A_1$ équilibrée, dont le levier $a$ est supporté par la tige $a_1$ d'un frein pneumatique $A_2$.

Le levier $a$ est muni, à une extrémité, d'un tampon en feutre $a_3$, qui butte sur un montant $A_3$. L'extrémité opposée $a_4$ du levier $a$ est ajustable dans un manchon $a_5$, isolé du le-

vier $a$ et de son extrémité $a_4$. Une vis de rappel $a_6$ est disposée sur l'autre extrémité $a_4$, et ajustée de sorte que sa tête s'engage sur l'extrémité du ressort $f_2$ d'un débrayeur $F_1$ lorsque $A_1$ n'est pas attirée, pendant que l'extrémité du ressort de dégagement $f_2$ est touchée. Le débrayeur $F_1$ est dans le circuit de la pile $B_1$, sur le côté de l'électro-aimant A, et composé du support $F_2$, du ressort $f_2$ et d'une pièce coulissante $F_3$. Le bloc $F_2$ porte un bras $f_1$, auquel est fixée l'une des extrémités du ressort $f_2$, et l'extrémité du ressort $f_2$ est munie d'un contact en platine $f_3$. Au-dessous de la plaque $f_3$, est un second contact en platine $f_4$, perpendiculaire à $f_3$, et supporté par la pièce $F_3$, ajustable verticalement.

Sur l'armature, est monté un levier C, qui porte, à son extrémité supérieure, une vis, et

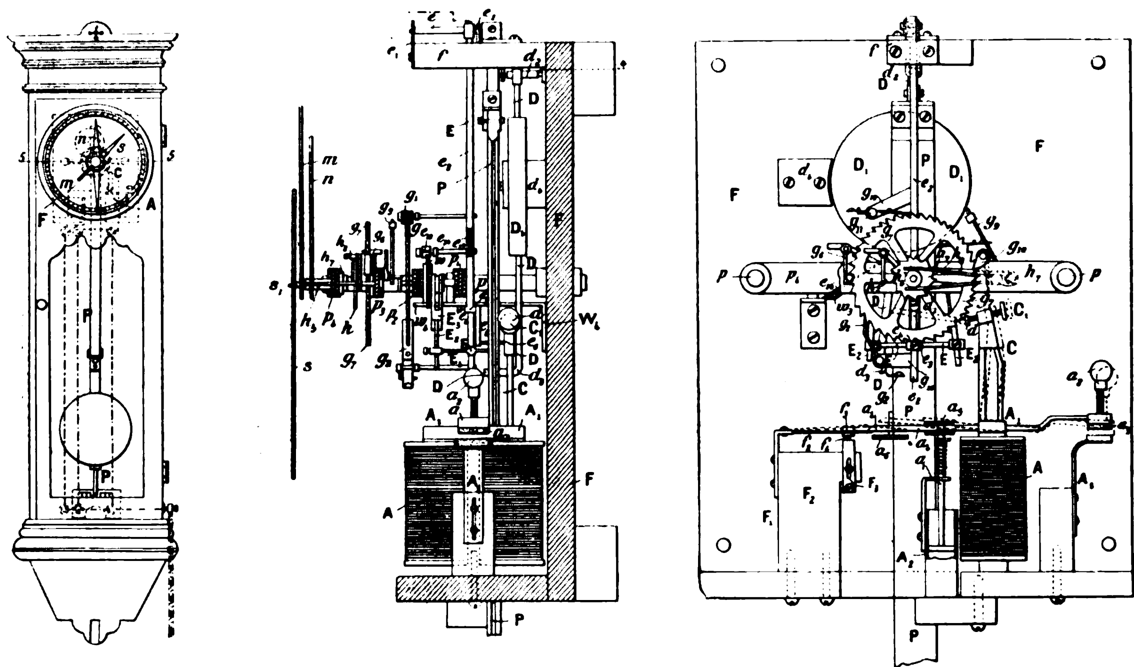


Fig. 19, 20 et 21. — Pendule Hænichen. Ensemble et coupes (1899).

est en contact avec un disque $d$, à l'extrémité du bras latéral $d_1$ d'une tige d'impulsion $D_1$ qui porte, à sa partie supérieure, un contrepoids $D_1$.

L'extrémité supérieure de la tige D est suspendue au pivot en acier $d_2$.

L'extrémité inférieure de D porte un bras $d_3$ venant au contact du balancier P.

La tige D est actionnée d'une façon intermittente par le bras C de l'armature $A_1$, lorsque cette dernière est attirée par l'électro-aimant, de façon à soulever et écarter la tige d'impulsion du balancier jusqu'à ce que son poids $D_1$ porte contre un arrêt $d_4$. Dès que l'armature est lâchée par l'électro-aimant A, la tige D est déclenchée par le mouvement de recul du bras de levier, de sorte qu'une impulsion est imprimée au balancier par le contact de $d_3$ avec le balancier.

Devant le balancier P, est disposée une béquille $e_2$, sur laquelle est monté le renverseur de courant. Cette béquille est fixée à un pivot $e$. A la béquille $e_2$, est adapté, près de son extrémité inférieure, un manchon ajustable $e_3$, fixé à la béquille par une vis de rappel $e_4$, et muni d'un bras $e_5$, qui porte une goupille dirigée $e_6$, engagée dans une coulisse $e_7$, formée dans le balancier, de façon que la béquille oscille avec le balancier. La béquille $e_2$ est munie, au-dessous de la goupille qui la relie au balancier, de bras latéraux E, avec bras $E_1$,

qui portent à leurs extrémités antérieures des bras $E_2$, dirigés vers le haut et légèrement convergents.

Les bras $E_2$ portent, à leurs extrémités supérieures, des ressorts de contact à coulisse $E_3$ munis de deux minces plaques de contact parallèles en platine $e_8$. Ces dernières sont disposées dans le même plan vertical, avec deux contacts en platine $e_{10}$ $e_{11}$, dont l'un $e_{10}$ est adapté à un pignon $w$, et dont l'autre $e_{11}$ est disposé à la même distance de l'arbre $w_1$ de $w$ que le contact $e_{10}$, à l'extrémité du bras $e_{12}$ du manchon $e_9$, isolé sur $w_1$.

L'extrémité postérieure de l'arbre $w_1$ traverse une ouverture dans la plaque $p_1$ et est en contact avec un ressort $w_3$, qui passe sur l'extrémité postérieure de l'arbre $w_1$ (fig. 22 et 23).

Un ressort de contact plat $w_3$, qui repose sur un support isolé $w_4$ fixé à la plaque postérieure du bâti E, est mis en contact électrique avec l'arbre $w_1$.

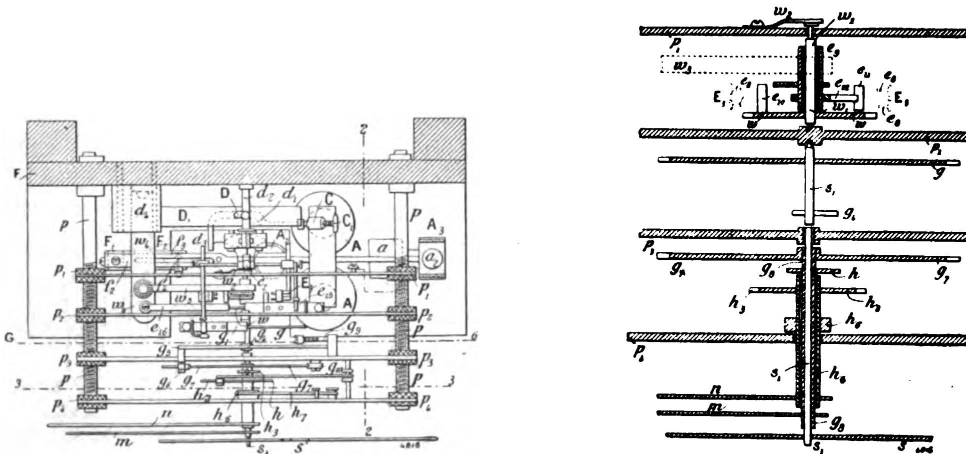


Fig. 22 et 23. — Pendule de Hænichen. Coupes.

La béquille $e_2$ est munie, au-dessus de la roue $w$, d'un bras $e_{13}$, qui porte une tige horizontale $e_{14}$, à laquelle est adapté un cliquet pousseur isolé $e_{15}$, en prise avec les dents de la roue $w$ (fig. 24).

La roue $w$ porte 15 dents, dont une plus longue que les autres.

A chaque oscillation du balancier P de droite à gauche, le cliquet $e_{15}$ de la béquille $e_2$ engrène avec les dents de la roue $w$, et le fait mouvoir sur son axe d'une dent.

A chaque tour complet de la roue $w$, le contact de la roue $w$, ainsi que celui du manchon $e_9$, sont en ligne avec les contacts des ressorts $E_3$. En même temps, le cliquet $e_{15}$ arrive sur la plus longue dent de $e$.

A chaque oscillation du balancier d'un côté à l'autre, et *vice-versa*, les contacts $e_8$ arrivent alternativement sur le contact $e_{10}$ de la roue dentée et le contact $e_{11}$ du manchon, de sorte que le circuit de la pile B ou celui de la pile $B_1$ est fermé (fig. 25).

A chaque oscillation du balancier et de sa béquille à gauche, le cliquet $e_{15}$ fait avancer la roue $w$ d'une dent, sans donner une impulsion au balancier au moyen de la tige D.

Lorsque le cliquet $e_{15}$ arrive sur la plus longue dent, il glisse sur les dents sans imprimer un mouvement de rotation à la roue $w$.

Lorsque la roue $w$ et le cliquet $e_{15}$ sont dans cette position, l'oscillation du balancier et de la béquille à droite produit le contact des plaques en platine de gauche $e_8$ avec la plaque en platine $e_{10}$ de la roue $w$, de façon à fermer ainsi le circuit de la pile B (fig. 25); ce qui fait qu'un courant positif passe à l'électro-aimant, de là à la béquille $e_2$ du renverseur de courant, au

***

ressort de contact de gauche $E_3$ et au contact $e_8$, au contact $e_{10}$ et au ressort $w'_2$, pour retourner au pôle négatif de la pile. L'électro-aimant est, par suite, excité, de sorte que son bras C élève la tige d'impulsion D.

Lors de l'oscillation suivante du balancier à gauche, les contacts $e_8$ et $e_{10}$ sont séparés et le circuit de la pile B est rompu, mais le contact entre $e_8$ et $e_{11}$ est établi, de sorte que le circuit de la pile $B_1$ est fermé, et qu'un courant de polarité négative est dirigé de la pile par l'électro-aimant sur la béquille, les contacts $e_{11}$, le manchon $e_9$ et le débrayeur $F_1$. Comme l'armature $A_1$ est retenue par le magnétisme rémanant des noyaux de l'électro-aimant, même après l'interruption du circuit de la pile A, elle n'est relâchée que par ce courant négatif, ainsi que la tige d'impulsion D, dont la chute donne au balancier une impulsion de gauche à droite. Lorsque cette impulsion a une force suffisante pour imprimer une oscillation complète au balancier, le cliquet $e_{15}$ saute la longue dent de la roue $w$, de sorte qu'il fera

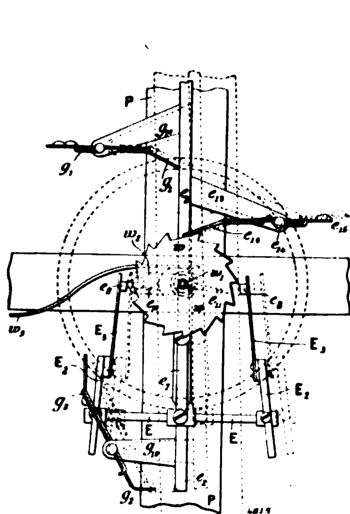


Fig. 24. — Pendule de Hænichen. Détail de l'échappement $w$.

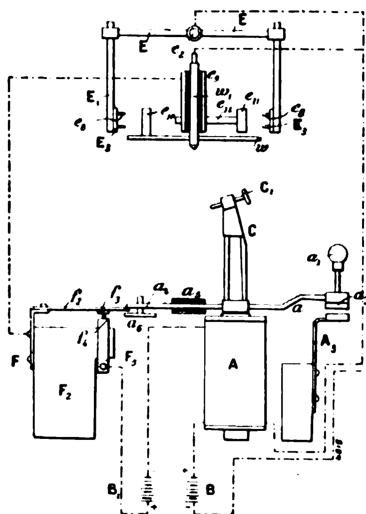


Fig. 25. — Pendule de Hænichen. Schéma des circuits.

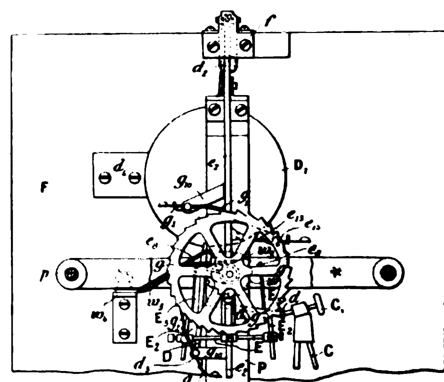


Fig. 26. — Pendule de Hænichen. Coupe suivant GG de la fig. 22.

de nouveau mouvoir ladite roue à chaque oscillation du balancier de la distance d'une dent, jusqu'à ce que le cliquet arrive de nouveau sur sa plus longue dent et repasse par dessus celle-ci.

Toutefois, dans la plupart des cas, l'impulsion donnée au balancier n'est pas suffisante, et elle nécessite plusieurs attractions et chutes de l'armature avant qu'une impulsion de force suffisante ne soit imprimée au balancier, de sorte que le cliquet pousseur $e_{15}$ saute la longue dent de la roue d'engrenage. Jusqu'à ce qu'il soit imprimé une force suffisante qui rétablisse la pleine oscillation du balancier, le cliquet va et vient par dessus la longue dent de $w$. L'armature est, par conséquent, attirée et relâchée plusieurs fois avant que le cliquet ne saute la plus longue dent, et la rotation suivante de la roue d'engrenage commence.

Lorsque l'armature est attirée, son levier met le ressort débrayeur $f_2$ en tension, et presse sa plaque de platine en contact avec la plaque $f_1$ de façon à la maintenir dans cette position. Dès que, par la fermeture du circuit de $B_1$, le courant négatif est envoyé à l'électro-aimant, l'armature est repoussée, le ressort débrayeur est élevé par le levier d'armature et par la séparation des plaques de contact en platine $f_3$ $f_4$ et le circuit est instantanément rompu.

Le débrayeur $F_1$ sert à interrompre rapidement le circuit de la pile $B_1$ avant que son courant ne puisse exercer son plein effet sur les noyaux de l'électro-aimant et attirer ainsi l'armature.

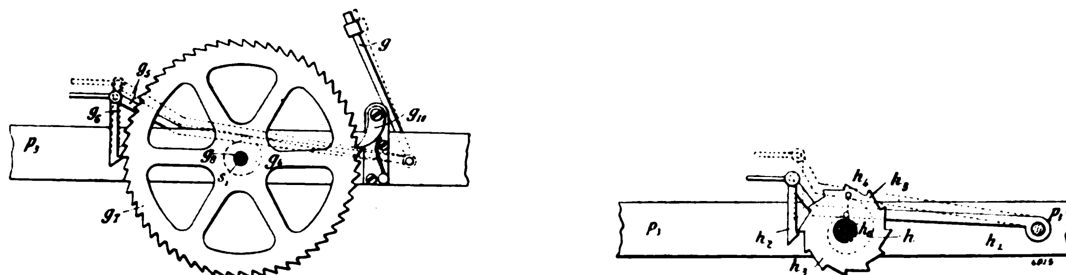


Fig. 27 et 28. — Pendule de Hænichen. Détail des échappements.

La répulsion de l'armature $A_1$ a pour effet de dégager la tige D du bras C de façon qu'elle descende et donne une impulsion au balancier, de gauche à droite.

La fermeture et la rupture alternatives des deux circuits des piles par le renverseur de courant continuent jusqu'à ce qu'une impulsion d'une force suffisante soit donnée au balancier par la descente de la tige D, de façon que le cliquet puisse enfin sauter la plus longue dent et faire alors tourner à nouveau la roue d'engrenage *w* du mécanisme de renversement de courant.

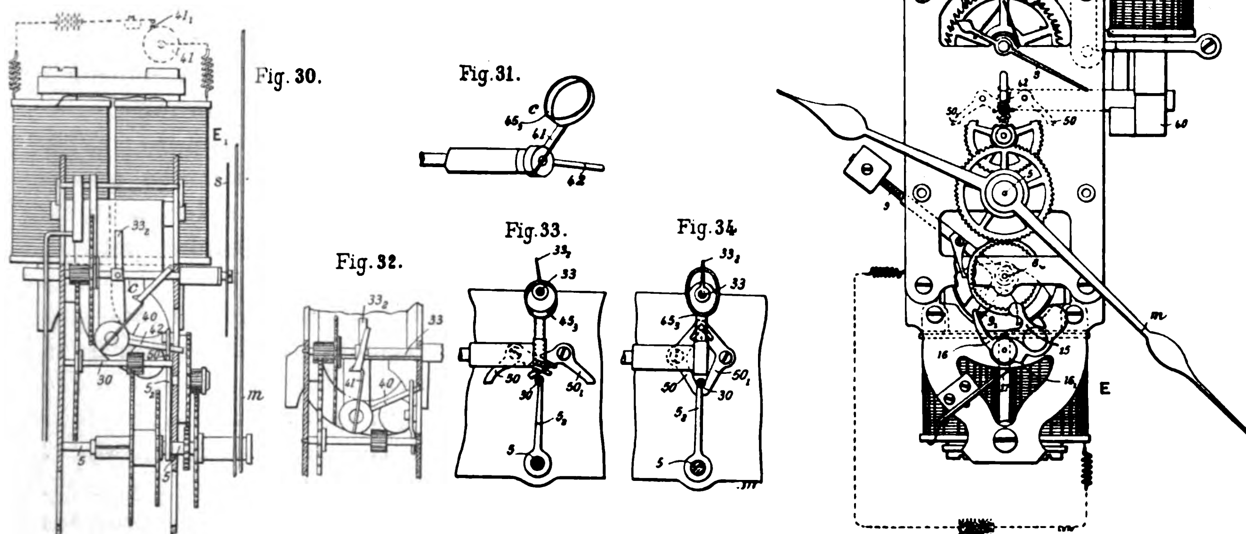



Fig. 29 à 34. — Horloge de Grégory (1901).

Le renverseur de courant et sa roue *w* servent donc à rétablir le battement normal du balancier à chaque quinzième battement, de façon à ne pas nécessiter une impulsion pour chaque battement du balancier.

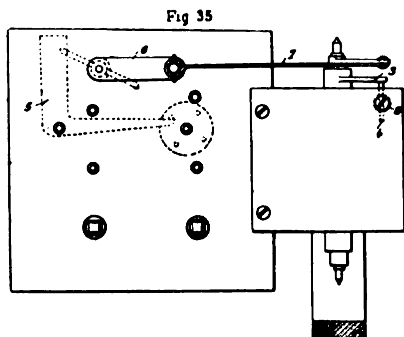
Le mouvement de la béquille $e_2$ est transmis au moyen de deux cliquets $g_1$ $g_2$, adaptés aux bras $g_{10}$ $g_{10}$ d'une roue à seconde *g*, portant trente dents (fig. 26).

Lorsque le balancier va à droite, le cliquet supérieur $g_1$ engrène avec une dent de la roue à secondes, tandis que, quand il oscille vers la gauche, le cliquet inférieur $g_2$ engrène

avec une dent de cette même roue, de sorte, qu'à chaque oscillation du balancier, la roue à secondes est mue d'une demi-dent. Chaque tour complet de la roue à secondes correspond à soixante secondes et fait mouvoir l'aiguille des secondes sur le cadran de la pendule. Le mouvement de la roue à secondes $g$ est continu et entièrement indépendant du mouvement de la roue $w$ du renverseur.

Sur l'arbre de l'aiguille des secondes S est placée une fusée $g_4$, sur laquelle repose un levier articulé $g_5$ qui porte, à son extrémité extérieure, un cliquet $g_6$. Ce cliquet engrène avec la roue des minutes $g_7$, calée sur un arbre creux $g_8$ placé au-dessus de l'arbre de la roue des secondes.

La roue des minutes $g_7$ porte soixante dents; son levier moteur $g_5$ étant maintenu en contact avec la roue de fusée $g_4$ par un bras à contrepoids adapté à l'extrémité articulée du levier (fig. 27).


Fig 35

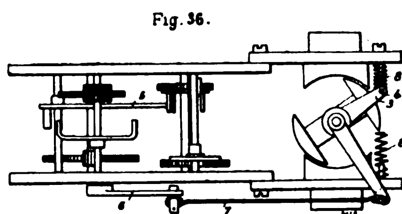

Fig. 36.

Fig. 35 et 36. — Horloge de la Compagnie Magnéta, de Zurich.

L'extrémité opposée du levier $g_5$ porte le cliquet $g_6$ sur un pivot qui s'étend par dessus la troisième plaque $p_3$ (fig. 19). Lorsque l'arbre de l'aiguille des secondes et de la roue des minutes $g_4$ ont fait un tour complet, le levier $g_5$ est soulevé avec le cliquet suspendu $g_6$, de façon à faire mouvoir la roue des minutes d'une dent.

Lorsque l'arbre de la roue des secondes a fait soixante tours complets, le cliquet du levier $g_6$ a engrené successivement avec toutes les dents de la roue des minutes, et fait ainsi mouvoir l'aiguille à minutes entièrement autour du cadran. Un cliquet d'arrêt $g_{10}$, actionné par un ressort, est disposé en un point diamétralement opposé au cliquet $g_6$, de façon à empêcher la roue des minutes de tourner en sens contraire.

Sur l'arbre creux de l'aiguile des minutes $m$, est placée une fusée $h$, de plus grande dimension que la fusée $g_4$, qui actionne le levier de la roue des minutes. Cette roue $h$ actionne un second levier plus petit $h_1$ (fig. 22 et 28).

Le levier $h_1$ porte, à son extrémité opposée, un cliquet $h_2$ qui engrène avec la roue des heures $h_3$ portant douze dents. Le cliquet $h_2$ est mis en mouvement par la rotation de la fusée des heures $h$ une fois pour chaque heure, de sorte que la roue des heures est amenée à tourner d'une dent. Le levier $h_1$ est muni d'une goupille $h_4$, qui se meut sur le pourtour de la fusée des heures, et qui, lorsqu'elle arrive au point d'excentricité maximum de la fusée retombe au point d'excentricité minimum, comme en traits ponctués sur la figure 25.

La roue des heures $h_3$ est adaptée à un arbre creux $h_4$ placé sur l'arbre de la roue des minutes (fig. 22 et 23). Sur l'arbre de la roue des heures $h_3$ se trouve un collet $h_5$, avec lequel arrive en contact, en des points diamétralement opposés, un ressort de friction en forme de V $h_6$, qui agit comme un cliquet d'arrêt, de façon que la roue des minutes soit maintenue en position pour être mue exactement par son cliquet.

Le moteur de l'horloge de Grégory, représentée par les figures 29-34, est un électro-aimant E qui, par son armature 13, soulève le contrepoids 9 du levier $989_1$; à la fin de cette levée, $9_1$, repoussant le bras 16, rompt le contact $16_1$-17 et le courant de E, qui laisse retomber $g$. C'est pendant cette chute que le poids $g$ entraîne le mécanisme d'horlogerie jusqu'à ce que $9_1$, repoussant le bras 15, le déclenche de 16, qui renferme le contact $16_1$-17.

La remise à l'heure se fait par un second électro-aimant $E_1$ qui, à la fermeture de son circuit en $42\text{-}41_1$ (fig. 30), attire son armature 40 et, avec elle, fait pivoter les bras 41 et 42 (fig. 28), dont l'un, par son anneau *c*, ramené au zéro, dans son creux $45_2$, le bras $33_2$ de l'arbre 33 de l'aiguille des secondes *s*, comme de figure 33 à figure 34, et dont l'autre bras 42, pris dans le croisement des coulisses des leviers 50 et $60_1$, les croise, comme de figure 33 à figure 34, sur l'axe 30, et ramène ainsi au zéro l'aiguille *m* des minutes, par le bras $5_2$ de son arbre 5.

Dans le système de la Compagnie Magnéta, de Zurich, l'horloge maîtresse commande les réceptrices par le courant d'une magnéto 3 (fig. 35), rappelée par deux ressorts 8. A chaque minute, l'échappement 5 lâche le levier 6, qui, commandé par un mécanisme d'horlogerie, fait un demi-tour, et par 7, 3, 4, imprime à la magnéto la vive oscillation nécessaire pour l'émission d'un courant. Les ressorts 8 amortissent ce mouvement sans chocs, et assurent le rappel rapide de la magnéto, ce qui permet de donner aux pièces 6 et 7 une grande légèreté.

(*A suivre.*)

G. Richard.

# SUR LES MOTEURS ASYNCHRONES

## DÉMARRAGE DES MOTEURS A CAGE D'ÉCUREUIL

L'expérience de plusieurs années a prouvé amplement, que les moteurs à courants alternatifs, sont d'un emploi satisfaisant aussi bien dans les grandes distributions d'énergie que dans les installations isolées, telles que usines, filatures, charbonnages, etc...

Dans les présentes notes, l'auteur se propose d'envisager particulièrement le moteur asynchrone, ou moteur d'induction, attendu que l'emploi du moteur synchrone se trouve limité à des conditions spéciales de service.

Il est deux formes essentiellement différentes du moteur d'induction.

1° Le moteur à rotor en court-circuit, connu sous le nom de *cage d'écureuil*, lequel est idéal par sa simplicité, mais qui requiert un courant considérable pour démarrer sous forte charge.

2° Le moteur à rhéostat, lequel pour démarrer sous une certaine charge absorbe un courant qui diffère peu du courant normal correspondant à cette charge. Un tel moteur possède un rotor enroulé pour un nombre défini de pôles, ainsi qu'une résistance variable, soit incorporée dans la lanterne de l'armature et tournant avec elle, ou bien encore placée à l'extérieur de la machine et connectée à celle-ci au moyen de bagues et frotteurs.

En ce qui concerne le choix à faire entre ces deux types, l'auteur soutient qu'il est inexcusable d'employer un moteur à rhéostat quand il peut être fait usage du moteur à cage d'écureuil.

Récemment et à plusieurs occasions, on a tenté de limiter la puissance pour laquelle ce dernier doit être employé ; par exemple M. A.-C. Eborall, dans une récente note produite devant le British Institute of Electrical Engineers, assure qu'il ne faut point dépasser 5 chevaux utiles lorsque de tels moteurs doivent démarrer sous charge, et 8 chevaux utiles quand cette dernière sujétion n'est point requise. Dans une publication antérieure, cet auteur est même allé jusqu'à fixer dans tous les cas la limite supérieure à 5 chevaux utiles.

De telles assertions peuvent se trouver dans les catalogues des maisons de construction, mais on est surpris de les entendre prononcer devant un corps aussi représentatif que l'Institute of Electrical Engineers. Elles sont aussi injustifiées que celles qui consistent à vouloir ériger en règle absolue l'emploi des groupes moteurs générateurs au lieu des commutatrices.

Les conditions du service décident seules du type dont on doit faire choix et l'inexactitude des assertions précédentes est d'ailleurs amplement démontrée par les centaines d'installations, employant avec succès les moteurs à cage d'écureuil, jusqu'à des puissances de plusieurs centaines de chevaux et ce particulièrement en Amérique.

S'il est vrai que ces moteurs exigent au démarrage un courant considérable dont l'intensité dépend d'ailleurs du couple à surmonter, et de la construction du moteur, par contre ils présentent les avantages suivants :

1° Simplicité de la construction, l'enroulement de l'induit consistant en de simples barres de cuivre passant à travers le rotor et court-circuitées aux extrémités par deux anneaux massifs.

2° Suppression de tous contacts mobiles et des complications causées par l'introduction des résistances durant la période variable.

3° Grande simplicité d'opération : le démarrage consiste uniquement dans la fermeture d'un interrupteur, alors qu'avec l'autre type un soin particulier est requis dans la manœuvre du rhéostat pour que l'efficacité du procédé soit obtenue.

4° Convient pour n'importe quel nombre de pôles, ce qui est d'un avantage spécial dans les cas où doit être envisagé un changement dans la vitesse en variant le nombre de pôles.

Les constantes sont plus favorables ; *a*) le facteur de puissance est plus élevé, car : α) la self-induction des connexions terminales est réduite à son minimum ; β) la répartition du courant dans les barres est mieux équilibrée ; γ) le courant magnétisant est généralement plus faible en raison des densités de ligne de force plus faibles dans le rotor ; *b*) le rendement est meilleur car : α) le poids de cuivre mort étant minimum, le métal est utilisé d'une manière judicieuse ; β) les frottements dus à la résistance de l'air sont diminués ; γ) toutes les pertes par friction des balais et résistance de contact disparaissent [1].

En vue de prouver par un exemple ces divers points, l'auteur donne ci-dessous quelques renseignements sur un moteur triphasé de 7,5 chevaux à 220 volts, qui fut d'abord essayé avec une cage d'écureuil, en second lieu avec un rotor enroulé, bagues, frotteurs et résistances extérieures. Dans les deux cas, il fut fait usage du même stator et des mêmes paliers [2].

| SPÉCIFICATIONS | MOTEUR A CAGE d'écureuil. | MOTEUR à rhéostat. | REMARQUES |
|---|---|---|---|
| Pertes par hystérésis | 250 w. | 250 w | Restaient approximativement les mêmes. Les écarts sont dus aux erreurs de lecture. |
| Effet Joule (stator) | 320 | 320 | |
| Pertes par frottement | 125 | 270 | |
| Effet Joule (rotor) | 310 | 285 | Essai. |
| | » | 215 | Déduit de la résistance ; l'écart est dû aux contacts imparfaits. |
| Rendement en pleine charge | 84,9 | 83,2 | |
| — en demi charge | 84,1 | 80,6 | |
| Facteur de puissance en pleine charge. | 89 | 88 | Donnés par le quotient des watts par les volt-ampères. |
| — en demi charge | 77 | 75.6 | |
| Puissance maxima utile développée | 15,5 chx | 14 chx | |
| Couple de démarrage | 6,7 kgm | 4,5 kgm | Couple en pleine charge = 3,9 kgm. |
| Courant de démarrage | 114 A | 26 A | Courant — = 19,9 A. |
| Poids du cuivre dans le rotor | 6 kg | 12,6 kg | |

[1] Toutefois si les bagues sont court-circuitées et les balais relevés lorsque le moteur est en vitesse, la différence sera plus faible, mais la complication introduite par un tel système n'est point pour en recommander l'usage, excepté dans les types de grandes puissances.

[2] Les deux rotors étaient du type normal d'une construction bien connue et aucun système du genre de celui mentionné dans la note (1) n'était employé. L'entrefer, d'après des mesures les plus exactes, était le même dans les deux cas.

Les chiffres précédents, qui ont été confirmés par de nombreuses expériences similaires, autorisent l'auteur à dire que, dans les cas où les moteurs doivent travailler la plupart du temps au dessous de la charge normale pour laquelle ils sont calculés (et c'est le plus souvent les conditions du service), on réalise une économie considérable dans la dépense annuelle de courant, en faisant usage du type à cage d'écureuil. De plus la sécurité qu'offre ce type jointe à l'absence d'étincelles qui réduit les chances d'accident et détériorations, et aux soins moins délicats qu'il requiert, en recommandent fortement l'emploi dans les mines, les filatures, où une interruption dans le service résultant d'un accident à un moteur peut avoir les plus sérieuses conséquences.

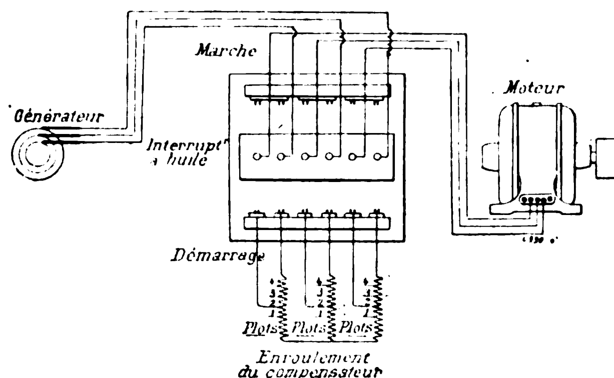


Fig. 1.

L'intensité considérable du courant de démarrage est le seul sérieux inconvénient à mettre en parallèle avec tous ces points avantageux. D'après le tableau ci-joint le moteur en question absorbe au démarrage un courant égal à 5,7 fois l'intensité normale en pleine charge ; il faut toutefois remarquer qu'il produit un couple de démarrage égal à 1,46 fois le couple en pleine charge.

En vue d'envisager plus complètement les conséquences de ces deux faits, l'auteur estime qu'il convient, suivant les conditions de service à remplir, de considérer trois catégories bien distinctes de moteurs : 1° Moteurs ayant à démarrer à vide ou sous faible charge, soit jusqu'aux 30 p. 100 de la puissance nominale ; 2° moteurs ayant à démarrer sous pleine charge ; 3° moteurs ayant à démarrer sous une surcharge.

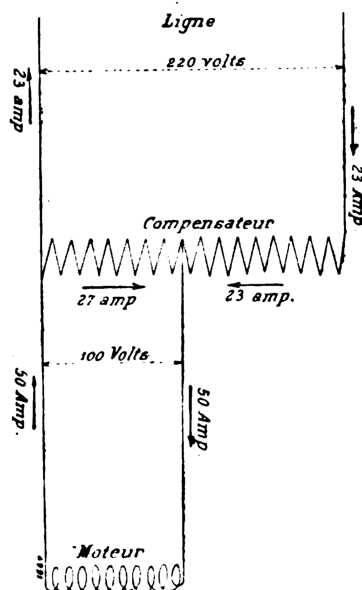


Fig. 2.

Sans aucun doute, un fort pourcentage des moteurs entre dans la première catégorie ; ainsi par exemple on pourrait citer : *a*) les moteurs entraînant une dynamo et constituant avec elle un groupe moteur générateur ; *b*) les moteurs entraînant des arbres de commande, des ventilateurs ; *c*) un grand nombre de moteurs directement couplés à des presses, laminoirs et machines-outils.

Dans de tels cas, il est aisé de voir, et la chose est montrée par le moteur de 7,5 chevaux ci-devant cité, que l'on pourrait réduire considérablement le couple de démarrage, sans altérer d'aucune façon, la nature du service que l'on attend du moteur.

Pour réaliser cette diminution de telle façon que le courant pris à la ligne soit aussi lui-même réduit dans les mêmes proportions, on fera usage d'un compensateur. Cet appareil agit comme un transformateur et réduit la différence de potentiel appliquée aux bornes du moteur et conséquemment le courant absorbé par celui-ci.

Sur la figure 1, l'on voit les connexions qui existent entre un appareil de cette espèce et un moteur triphasé. En lui-même, l'appareil consiste en trois bobines enroulées sur trois noyaux en fer laminé. Quand l'interrupteur est dans la position du démarrage, le courant de la ligne traverse le compensateur dont l'enroulement est gradué de façon à obtenir différentes valeurs pour le voltage : chaque branche étant à la fois le primaire et le secondaire d'un transformateur, au courant primaire qui est celui de la ligne, se superpose le secondaire en opposition, de telle sorte que le courant résultant est la différence de deux intensités, ce qui permet de réduire les dimensions de l'enroulement. Ajoutons qu'une autre raison, celle de la courte duréed'emploi, permet de travailler à de très hautes densités

dans le fer et le cuivre, ce qui réduit encore considérablement les proportions et le prix de l'appareil.

Sur la figure 2, se trouvent représentées diagrammatiquement les conditions de fonctionnement d'un compensateur établi pour le moteur de 7,5 chevaux en supposant que celui-ci doive démarrer en produisant un couple égal aux 30 p. 100 du couple en pleine charge [1].

Lorsque les moteurs sont alimentés au moyen de transformateurs réducteurs, par exemple dans une transmission à haut potentiel, étant donné qu'il n'est point conseillable d'enrouler des moteurs au-dessous de 50 chevaux pour des tensions aussi élevées que 5 000 ou 6 000 volts, les plots de démarrage peuvent être ménagés immédiatement dans le secondaire [2]

Si l'on se reporte à la figure 3, l'on voit que dans la position indiquée l'interrupteur à double direction soumet le moteur à un voltage réduit de moitié, évitant ainsi pendant la période variable tout courant excessif dans la ligne [3]. On remarquera incidemment aussi, l'avantage que présente le montage en triangle qui permet d'utiliser un seul branchement lequel fournit le voltage approprié et requiert seulement un double interrupteur bipolaire au lieu d'un double interrupteur tripolaire dans le cas d'un montage en étoile.

Le seul point restant à discuter est celui de l'influence des courants de démarrage sur le système.

Le cos $\varphi$ d'un moteur à rhéostat, pendant la mise en marche, se maintiendra entre 0,8 et 0,85, (il peut même être de 0,9 à 0,95 pour des moteurs qui ont à démarrer sous très forte charge), tandis que celui d'un moteur à cage d'écureuil de même puissance variera entre 0,15 et 0,2. C'est-à-dire que, dans le premier cas, la composante déwattée sera de 50 à 60 p. 100 et dans le second

---

(1) L'on sait que le couple est proportionnel au carré du voltage appliqué aux bornes, conséquemment on devra réduire celui-ci dans le rapport

$$\sqrt{\frac{1,46}{0,30}} = 2,2 \qquad \text{ou bien encore} \qquad \frac{220}{2,2} = 100 \text{ volts};$$

le courant de démarrage à 220 volts étant approximativement 114 ampères, l'impédance du moteur est égale à

$$\frac{220}{114} = 1,95 \text{ ohms}$$

De là, on voit que le courant de démarrage à 100 volts est approximativement

$$\frac{100}{1,95} = 50 \text{ ampères.}$$

En réalité il sera probablement moindre, car, par suite de la saturation magnétique, l'impédance à voltage réduit est plus considérable qu'à potentiel normal, et par conséquent ce fait agit encore pour réduire le courant.

Tandis que d'un côté du secondaire l'on a 100 volts et 50 ampères, de l'autre côté l'on a 220 volts et 23 ampères; c'est-à-dire un courant à peine supérieur de 15 p. 100 au courant normal.

L'enroulement, d'une part, conduit 23 ampères et d'autre part, 27 ampères.

Dans la figure 2 on peut voir les sens des courants indiqués par des flèches.

Pour énoncer d'une manière générale le principe de tels compensateurs, il suffit de dire qu'en réduisant le voltage dans le rapport, $\frac{1}{x}$ on réduit le couple et le courant primaire dans le rapport $\frac{1}{x^2}$.

Au sujet du prix de cet appareil, il peut être ajouté qu'un moteur en cage d'écureuil avec son compensateur coûte à peu près la même somme qu'un moteur d'induction ordinaire avec son rhéostat. Pour les faibles puissances, ce dernier système est quelque peu moins cher, pour les puissances plus considérables il est au contraire plus onéreux.

Quand le moteur a atteint sa vitesse, l'interrupteur est renversé, de la sorte le compensateur est mis hors circuit et le moteur reçoit directement le courant de la ligne sous la différence de potentiel de la distribution.

(2) Dans ce cas le prix du moteur à cage d'écureuil sera réduit de façon à devenir de 10 p. 100 à peu près inférieur au prix du moteur à induit enroulé de même puissance.

(3) Cette méthode de démarrage a aussi été appliquée avec succès aux commutatrices et moteurs synchrones, lesquels au moment de la mise en marche sont assimilables aux moteurs à cage d'écureuil.

de 94 à 97 p. 100, en supposant que les moteurs démarrent avec un courant approximativement le même, les couples produits étant sans doute différents.

Dans chaque cas particulier, l'étude des conditions suivantes permettra seule de décider si oui ou non il faut employer un moteur à cage d'écureuil : *a*) Nature et qualité de l'installation génératrice ; *b*) Caractère du service ; *c*) Caractère du reste de la charge.

L'installation génératrice doit être puissante en comparaison de chacun des moteurs pris individuellement, avoir au moins 10 à 12 fois la puissance du plus fort d'entre eux. Plus ce rapport est grand et plus l'effet des démarrages sera amorti. De plus les alternateurs devront avoir un bon réglage, soit de 5 à 7 p. 100 en pleine charge non inductive dans le cas où un circuit d'éclairage est directement dérivé sur les barres du tableau, et de 7 à 8 p. 100 en pleine charge non inductive, dans le cas d'une simple transmission de force motrice.

Dans le premier cas, la charge d'éclairage elle-même tendra à améliorer le facteur de puissance résultant, et par là même à diminuer la chute de voltage produite au moment du démarrage dont l'influence est par conséquent amortie. Dans le second cas, une chute de potentiel de 15 à 20 p. 100 n'aura pas de sérieuses conséquences attendu que les moteurs d'induction modernes sont calculés libéralement au point de vue de la capacité de surcharge, ce qui leur permet de continuer leur fonctionnement même avec une telle réduction de voltage. Il doit cependant être entendu que les considérations précédentes s'appliquent aux moteurs qui usent d'un compensateur ou d'un transformateur au moment de la mise en marche.

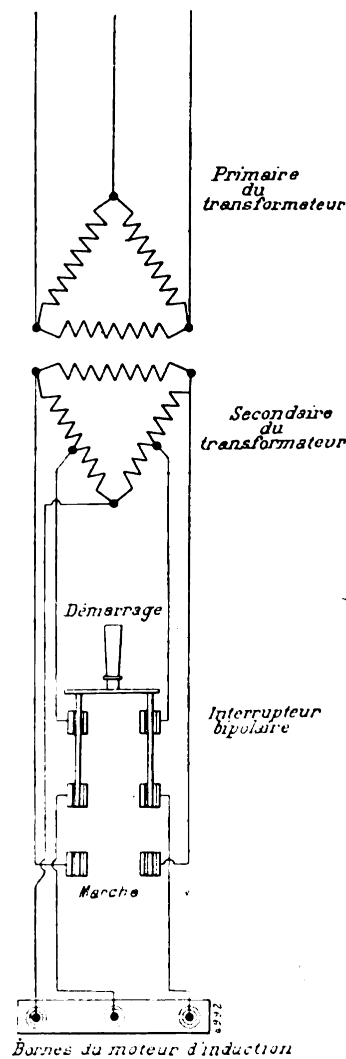


Fig. 3.

En ce qui concerne le caractère du service, une bonne part dépend de l'importance et de la fréquence des mises en marche. Si celles-ci ont lieu une ou deux fois par jour de telle manière que l'usine génératrice en soit prévenue, il pourra être fait usage de moteurs à cage d'écureuil relativement plus puissants, surtout lorsque le démarrage se fait à des heures où les circuits d'éclairage sont peu chargés. Telles sont par exemple les manufactures employant un gros moteur que l'on met en train le matin et peut être encore à midi. — Nous rencontrons aussi dans l'exploitation des mines le cas d'un moteur, dont la puissance s'élève parfois à quelques centaines de chevaux, actionnant les machines d'aérage ou d'épuisement et conduit directement par son propre générateur. Ici il sera recommandable de choisir un type en cage d'écureuil et de le démarrer en même temps que le générateur.

Quant au caractère de la surcharge, il peut être répété que là où les conditions ne sont pas trop sévères, même dans un système où il y a des lampes, les moteurs à cage d'écureuil peuvent être employés avec succès, s'ils sont installés avec le soin nécessaire. Il serait impossible de formuler une loi bien définie ; mais en raison des avantages qui peuvent en résulter, l'on sera toujours payé d'une investigation soigneuse dans chaque cas.

Quoique l'auteur ait défendu amplement le type à rotor en court-circuit, il est profondément convaincu des avantages qui peuvent être obtenus du type à rhéostat, si les moteurs sont puissants comparativement à l'installation génératrice, et doivent démarrer en charge et en surcharge.

Il convient de remarquer que si la première condition ne soulève point de difficultés et peut être aisément réalisée avec tous les moteurs de cette dernière forme, la dernière s'applique aux machines à service intermittent, tels que grues, treuils, ponts roulants, ascenseurs. Ici le couple

de démarrage est le facteur qui décidera en dernier ressort, car les périodes de marche sont suivies souvent de longs repos, et la base d'appréciation sera ici beaucoup plus large.

Par exemple, en modifiant tant soit peu le projet du moteur avec rhéostat de 7,5 chevaux que l'on a vu plus haut ; en augmentant la densité des lignes de force, l'on obtiendra un couple égal à environ 13 kgm, soit 3,5 fois le couple en charge. La puissance développée pourrait être élevée jusqu'à 12 chevaux pour un service intermittent sans dépasser les températures tolérables.

Si un réglage de vitesse est requis, on usera d'un controller et d'une résistance capable d'absorber un plus fort courant.

A ce propos, l'auteur croit devoir ajouter quelques mots en faveur des moteurs à faible vitesse contre les moteurs à vitesse de valeur moyenne. Car si dans les conditions ordinaires le moteur à grande vitesse est toujours préférable par suite de son meilleur rendement, et de son prix plus bas, tous ces avantages sont perdus par les trains d'engrenages requis pour les grues, les treuils et ascenseurs, avec lesquels d'ailleurs il est très difficile d'obtenir une marche silencieuse avec des engrenages tournant à grande vitesse. Le moteur à faible vitesse possède aussi un plus faible moment d'inertie, ce qui a pour conséquence une réduction dans la durée et la puissance du démarrage et de l'arrêt. En reprenant de nouveau le moteur de 7,5 chevaux à 4 pôles et avec vitesse angulaire à 1 500 t : m et en le comparant avec un moteur de 7,5 chevaux à 12 pôles et à 500 t : m., l'on obtient en effet les résultats suivants :

| SPÉCIFICATIONS | MOTEUR A VITESSE MODÉRÉE | MOTEUR A FAIBLE VITESSE |
|---|---|---|
| Poids du rotor . . . . . . . . . . . . . . . . | 70 kg | 130 kg |
| Diamètre. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 cm | 40 cm |
| Energie du démarrage. . . . . . . . . . . . | 2,28 | 1 |

Les notes ci-dessus, ainsi que l'espère l'auteur, contribueront à éclaircir le problème de l'emploi du moteur asynchrone qui a obtenu une si grande faveur en Amérique et en Europe par suite de la simplicité et de la sécurité qu'il offre [1].

H.-S. Meyer.

Ingénieur à la British Thomson-Houston C°.

Rugby, juin 1902.

## L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS [2]

### *B*. Éclairage des trains par des systèmes comportant des dynamos

#### I. Éclairage d'un train entier avec un ou deux générateurs seulement.

*a*. Par dynamos recevant le mouvement de l'essieu. — Les premiers essais de systèmes de ce genre remontent à une époque aussi ancienne (1881) que celle où eurent lieu les premiers essais pour accumulateurs isolés, et les applications définitives ont été réalisées avec ce système dès 1882, c'est-à-dire sept ans au moins avant les premières applications fermes de l'éclairage d'accumulateurs isolés.

Je passerai sous silence le système Tommasi essayé à l'État belge et à l'Est français

(1) Traduit de l'anglais par P.-A. Mossay.

(2) Voir l'article précédent dans le numéro du 7 juin 1902, t. XXXI, p. 342.

en 1883 ; de l'usine de Cannstatt essayé à l'État prussien et au Würtemberg en 1884 ; de Calo, essayé au Sud-Autrichien en 1884 ; le système du Midland, essayé en 1885 ; le système, Timmis, essayé sur le Sud-Express en 1890. Tous ces systèmes rudimentaires ont été abandonnés parce qu'ils fonctionnaient mal et exigeaient pour la plupart la présence d'un agent pour régler les appareils, ce qui rendait l'éclairage très onéreux.

*London-Brighton Railway* (*Angleterre*). — Ayant obtenu de mauvais résultats dans des essais d'éclairage par accumulateurs, MM. Stroudley et Houghton, ingénieurs du chemin de fer de Brighton, étudièrent en 1881 un système d'éclairage électrique d'un train entier qui commença à fonctionner en 1882.

La dynamo, placée sur le plancher du fourgon (fig. 1), reçoit son mouvement d'un essieu par un renvoi de mouvement et deux courroies dont la dernière est verticale et suit les déplacements de la caisse (dont elle est solidaire) par rapport au châssis.

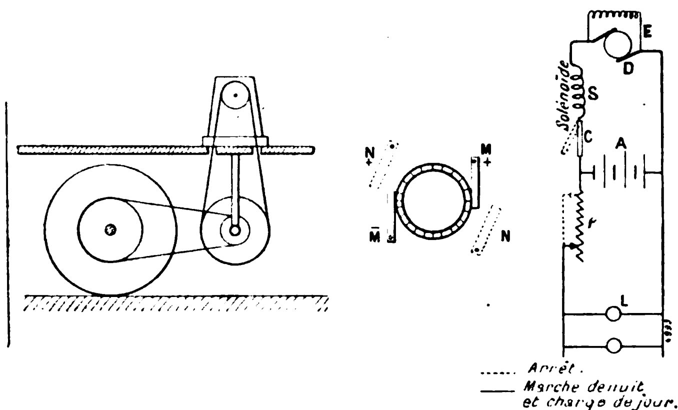



Fig. 1, 2 et 3.

En face du collecteur de la dynamo se trouvent deux paires de balais verticaux $MM_1$ et $NN_1$ (fig. 2) ayant des connexions inverses avec les accumulateurs qui, au repos, sont écartés du collecteur. Lorsque la dynamo se met en mouvement, un peu plus tard, après une certaine augmentation de vitesse, un appareil centrifuge établit un contact qui donne le courant à un relais, lequel ferme le circuit de la dynamo sur les accumulateurs. Suivant qu'elle démarre dans un sens ou dans l'autre ; elle entraîne à droite ou à gauche un balancier fou qui fait basculer la paire de balais $MM_1$ ou la paire NN, et l'applique contre le collecteur sous l'influence de l'appareil centrifuge.

On se contentait au début de limiter les variations de force électromotrice [1] avec la vitesse par un déplacement automatique des balais par l'action du même appareil centrifuge qui sert à la pose des balais, ce qui a pour effet de réduire le nombre de spires embrassé, procédé employé également dans certaines génératrices pour distributions à intensité constante, et qui figurait aussi, m'a dit M. Harlé, dans les premiers brevets Gramme. Ce réglage approximatif de la force électromotrice était suffisant parce qu'on faisait usage à cette époque de deux batteries d'accumulateurs ; une d'elles était reliée directement à la dynamo et mise en charge, pendant que les lampes étaient alimentées par la seconde batterie complètement isolée et fournissant par conséquent une lumière parfaitement constante sans interposition d'aucune résistance ; les batteries étaient interverties à l'aide d'un commutateur à main. Mais on risquait fort d'épuiser les accumulateurs si l'on ne changeait pas à temps la position des batteries, ou bien il aurait fallu employer des batteries considérables capables d'assurer chacune par leur seule décharge une longue durée d'éclairage. Aussi, après quelques années,

[1] Le rapport de MM. Weissenbruch et E. Sartiaux au Congrès des chemins de fer de 1889 indique un procédé de réglage dû à MM. Stroudley et Houghton et consistant à disposer sur l'inducteur de la dynamo, à côté du circuit shunt, un circuit inverse intercalé en série dans le circuit de charge des accumulateurs, et destiné vraisemblablement à provoquer une désaimantation proportionnelle à l'augmentation de vitesse. Ce dispositif n'est pourtant pas utilisé dans le système installé par MM. Stroudley et Houghton au London-Brighton.

ce dispositif a-t-il été remplacé par un autre ne comportant qu'une seule batterie A (fig. 3) branchée constamment en dérivation avec la dynamo D et les lampes L, et qui peut être beaucoup plus petite puisqu'elle ne sert plus que de régulateur, sauf pendant les arrêts du train où elle fournit seule le courant. Les appareils sont restés les mêmes, mais on a ajouté en série dans le circuit des lampes un rhéostat $\rho$ dont le frotteur parcouru par le courant total débité par la dynamo est commandé par un solénoïde S ; la résistance variable de ce rhéostat est destinée à maintenir la tension constante aux lampes, malgré les variations de force électromotrice de la dynamo avec la vitesse que le réglage approximatif par décalage des balais laisse subsister et malgré la différence de tension des accumulateurs de 3 volts environ, suivant qu'ils sont en charge, pendant la marche du train, ou en décharge pendant les arrêts (trait pointillé) ; dans ce dernier cas, la résistance intercalée entre les lampes et la batterie est nulle ; cette résistance $\rho$ atteint une certaine valeur correspondant au passage des éléments de la tension de 2 volts à 2,2 volts, lorsque la dynamo fournit le courant aux lampes, puis augmente ensuite légèrement au fur et à mesure que le courant de charge fourni aux accumulateurs augmente et fait croître la tension des accumulateurs. Ce mode de variation de la résistance d'absorption des lampes n'est pas parfait, théoriquement, tout au moins, car il agit en sens inverse de la saturation de la batterie ; en effet, lorsque la batterie devient saturée, sa force contre-électromotrice augmentant, le courant de charge diminue, toutes choses égales d'ailleurs, et par suite la résistance d'absorption diminue alors qu'il faudrait qu'elle soit augmentée puisque la tension fournie par la batterie aux lampes augmente. En pratique, la lumière ne subit que des variations acceptables, parce qu'on laisse la dynamo charger les accumulateurs pendant les parcours de jour, toujours assez longs sur les trains considérés, où les lampes ne sont pas allumées ; de la sorte les accumulateurs se trouvent toujours chargés presque à saturation au début de la période d'éclairage et l'on peut régler la résistance d'absorption pour cet état de saturation, dont ils s'écartent peu pendant toute la soirée ; on n'observe donc guère de surélévation de tension des lampes au delà de la valeur admise comme normale.

Dans un fourgon est placée, à côté de la dynamo de 5 chevaux fournissant en moyenne 40 ampères sous 55 volts, une batterie de 24 éléments de 400 ampères-heure représentant 9 à 10 heures d'éclairage pour un train de 10 voitures comportant 1 lampe de 10 bougies ou de 16 bougies par compartiment et absorbant une lumière totale de 600 à 700 bougies.

La dynamo et les appareils des fourgons sont visités une fois par jour pendant le stationnement des trains en gare de London-Bridge, mais fonctionnent sans aucune surveillance pendant toute la journée [1].

*Great Northern (Angleterre)*. — Le chemin de fer du Nord de l'Angleterre a réalisé en 1886, l'éclairage d'un train de banlieue à l'aide d'un système analogue à celui du chemin de fer de Brighton. Le système fut ensuite étendu à 7 autres trains de banlieue de 10 voitures, soit en tout 8 trains et 90 voitures éclairées. La situation est la même depuis de longues années ; le système n'a pas été étendu parce qu'on a pas trouvé d'autres trains

[1] Le système Stroudley et Houghton a reçu rapidement une grande extension au London-Brighton où il a été appliqué à 38 trains de banlieue et 3 trains express, soit en tout à 42 trains représentant ensemble *430 voitures*. Cet effectif existait encore en 1898, lorsque j'ai visité l'installation du London-Brighton; à ce moment la Compagnie avait mis à l'essai le système Stone d'éclairage électrique par voitures indépendantes, dont il sera parlé plus loin, sur 34 voitures. Ce système ayant donné de bons résultats a été substitué au système d'éclairage des trains en bloc, d'abord sur les trois trains express, puis sur d'autres trains où l'accouplement forcé des véhicules pouvait présenter de la gêne dans certains cas. Mais le système Houghton a été et sera conservé sur 26 trains de banlieue comprenant 271 voitures ayant toujours des compositions uniformes, parce que ce système procure, d'après les ingénieurs de la Compagnie, un éclairage très économique et bien meilleur marché notamment que par le système Stone.

non sujets à coupures et intercalations de véhicules divers, mais on en est toujours très satisfait et l'on n'a d'ailleurs pas encore employé, dans cette Compagnie, l'éclairage par dynamos indépendantes.

La dynamo placée dans un fourgon est commandée par courroie et reçoit son mouvement d'un essieu, par l'intermédiaire d'une poulie de renvoi suivant une disposition semblable à celle du Brighton représentée en figure 1. Elle absorbe 7 chevaux environ et peut fournir 40 ampères sous 50 volts. Le collecteur de cette dynamo bipolaire présente diverses dispositions toutes particulières.

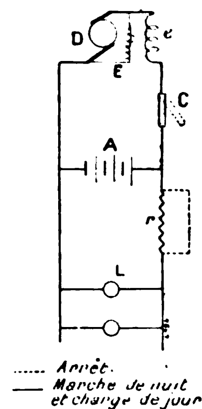


Fig. 4.

Au lieu d'être formé d'un tambour unique à lamelles, il est formé de deux cylindres $P_1P_2$ (fig. 5) accolés sur l'arbre de la dynamo et dont les lamelles correspondent pour chacun d'eux à la moitié des bobines de l'induit ; en outre ils présentent un décalage de 180° l'un par rapport à l'autre, de sorte que sur chaque tambour appuie seulement un balai et que les deux balais $M_1$ et $M_2$ se trouvent tous deux au-dessus du tambour, ce qui facilite leur visite. Sur l'axe de la dynamo est monté un appareil à force centrifuge qui, à une certaine vitesse, établit le contact d'un relais commandant un commutateur conjoncteur placé sur un petit panneau contre une cloison du fourgon. Les connexions de la dynamo avec les accumulateurs sont interverties, lorsque le sens de rotation change, par la rotation d'un petit disque manchonné fou sur l'axe de l'arbre (fig. 6) et susceptible d'un déplacement angulaire qui change les segments sur lesquels appuient 4 petits balais fixes reliés d'une manière convenable à la dynamo et aux accumulateurs.

Il n'y a qu'une seule batterie d'accumulateurs A (fig. 4) réunie directement avec la dynamo et reliée aux lampes par l'intermédiaire d'une résistance d'absorption R, de valeur fixe, qui est mise en court-circuit au moment de l'arrêt (trait pointillé) par la manœuvre du relais disjoncteur.

Le réglage de la force électro-motrice de la dynamo est obtenu concurremment par un enroulement inducteur inverse *e* à la dynamo, intercalé en série dans le circuit général de débit de la machine, et par un décalage de la prise de courant produit par la force centrifuge. Mais tandis qu'au London Brighton ce sont les balais qui se déplacent par rapport au collecteur, ici les balais restent fixes et c'est l'ensemble des demi-collecteurs qui subit un déplacement angulaire par rapport aux bobines induites ; pour rendre ce déplacement possible, les bobines, au nombre de 8 seulement, sont reliées aux touches des demi-collecteurs par des fils souples. La batterie d'accumulateurs sert bien entendu également de régulateur parce que sa tension ne varie que très peu pour un courant de charge variant dans d'assez grandes limites. Mais, toutes choses égales d'ailleurs, la tension de cette batterie augmente avec la saturation des accumulateurs : la régulation, si elle n'agit pas en sens inverse de cette variation comme au London Brighton, du moins n'en tient pas compte puisque la résistance d'absorption R des lampes est invariable quelle que soit la saturation des éléments. Pratiquement cette variation de tension ne se fait pas sentir d'une façon sensible aux lampes parce qu'on règle, comme au London Brighton, la résistance d'absorption R pour un état voisin de la saturation des accumulateurs, état dont ils ne s'écartent guère parce que l'on peut laisser suffisamment les accumulateurs en charge pendant la période de jour. Un

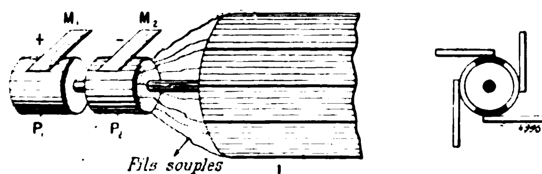


Fig. 5 et 6.

interrupteur permet d'isoler la dynamo des accumulateurs pendant la marche de jour [1].

*Chemin de fer de l'Etat Autrichien (Système Dick).* — Cette compagnie a mis en service, à titre d'essai, en décembre 1897, les appareils d'éclairage du système Dick sur un train de banlieue de 18 voitures, représentant au total 730 bougies, circulant entre la gare de l'Ouest de Vienne et Saint-Poltken, localité distante de 70 km.

Lorsque j'ai visité cette installation en 1898, la disposition des appareils était la suivante : sur le chassis d'un fourgon était montée et commandée par engrenages, à la manière des moteurs de tramways, une dynamo de 10 chevaux à 120 volts. Tous les appareils de réglage étaient disposés dans une petite armoire de 1,50 m de largeur, 1,50 m de haut et 0,60 m de saillie, fixée contre une paroi du fourgon.

La conjonction et la disjonction étaient effectuées électriquement par le mouvement de

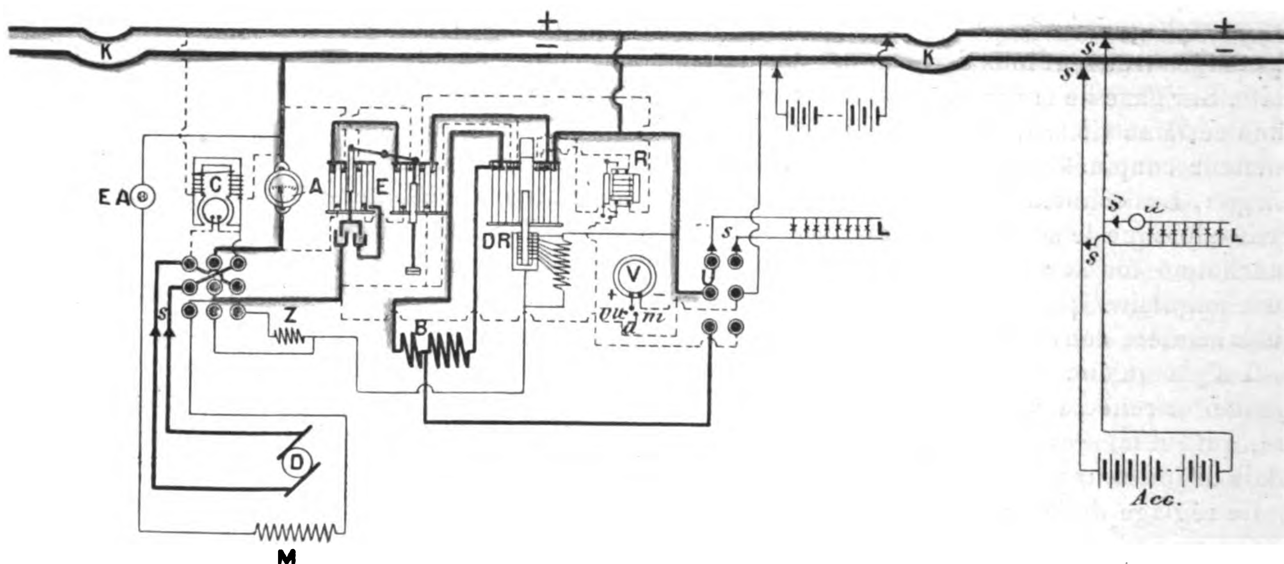



Fig. 7.

levier d'un double solénoïde AE (voir la fig. 7, reproduite d'après une brochure du constructeur, qui donne une idée de la forme des appareils, mais qui est trop compliquée comme schéma) dont l'armature en fourche venait plonger dans deux godets à mercure, lorsque la vitesse du train ayant atteint 25 km, la force électromotrice de la dynamo était arrivée à 125 volts.

La force électromotrice de la dynamo était maintenue à peu près constante et ne s'élevait pas au-dessus de 150 volts, grâce à un régulateur DR qui introduisait des résistances variables

(1) Les dynamos sont abandonnées sans surveillance pendant les voyages ; on les examine seulement une fois par jour en gare de King'scross où se trouve un petit atelier pour les réparations des pièces mécaniques et des accumulateurs. Au début, on se servait de balais en charbon qui s'usaient très vite et donc le remplacement était très onéreux ; la Compagnie a réalisé une économie sensible en remplaçant les balais en charbon par d'autres constitués de 5 feuilles de cuivre mince repliées en zigzag et pressées par une lame formant ressort ; ces balais élastiques sont fabriqués à bon marché par la Compagie même et s'usent peu.

La batterie d'accumulateurs est composée de 22 éléments de 300 ampères-heures, du type E. P. S., disposés dans des bacs en bois doublé de plomb placés sur des étages dans un angle du fourgon ; elle représente environ 7 heures d'éclairage pour un train de 10 voitures dont l'éclairage total est de 558 bougies. Les lampes à 40 volts, de 16 bougies en 1re classe et 10 bougies en 2e et 3e classe, sont placées dans de petites coupes unies, munies de réflecteurs et montées au plafond. La canalisation générale se compose simplement de câbles isolés, un peu souples, serrés sur des bornes vissées sur le haut de la toiture des voitures.

dans l'excitation de la dynamo. Ce régulateur, analogue à l'appareil Zypernowski, se composait d'un solénoïde dont le noyau plongeait plus ou moins dans un tube à mercure auquel aboutissaient les différentes sections du rhéostat.

L'inversion des connexions de la dynamo avec les accumulateurs était produite par un basculeur comprenant 6 contacts à mercure et qui était commandé par la rotation à droite ou à gauche d'une sorte de dynamo C excitée par les accumulateurs et ayant l'induit en série avec la dynamo principale D.

La dynamo était reliée à une canalisation principale à deux fils s'étendant sur tout le train et comportant entre les voitures des accouplements formés par des fils souples terminés par des languettes s'engageant dans des pinces de forme différente pour chacun des pôles. Sous chaque voiture était disposée dans un coffre une petite batterie de 60 éléments de 25 ampères-heure représentant 10 heures d'éclairage, avec plaques à grandes pastilles du type de la maison Wüste et Rupprecht de Vienne qui construisait les appareils Dick. Toutes ces petites batteries étaient branchées en dérivation sur la canalisation principale.

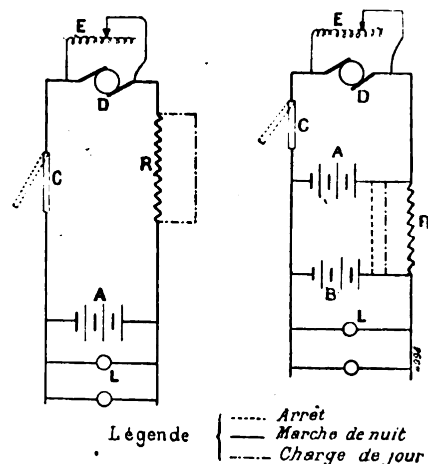


Fig. 8 et 9.

Ce qui distingue le système Dick des systèmes anglais, c'est qu'il comporte une résistance d'absorption R (fig. 8) disposée avant les accumulateurs au lieu d'être placée entre les accumulateurs et les lampes. Cette résistance est calculée de façon à ce que, pendant la période d'éclairage, la tension de la canalisation, c'est-à-dire la tension appliquée aux accumulateurs, varie de 112 à 118 volts. Lorsque la force électromotrice de la dynamo varie de 120 à 150 volts, cette tension se maintient la plus grande partie du temps à 118 volts, mais ne dépasse jamais 120 volts, soit 2 volts par élément, de sorte que les accumulateurs fournissent un courant assez faible, mais sont toujours en décharge. Pendant les arrêts la résistance R n'est pas touchée, mais le circuit de la dynamo est rompu par le disjoncteur C et les accumulateurs travaillant seuls, fournissent encore aux lampes 2 volts par élément. Il en résulte que le réglage des lampes est beaucoup plus parfait. J'ai constaté en effet, qu'il ne variait pas de plus de 2 volts sur 118 volts : les survoltages sont en effet impossibles, il ne peut se produire qu'une baisse de tension en cas d'épuisement partiel ou total de la batterie ; mais avec cette disposition les accumulateurs ne recevant aucune charge pendant la période d'éclairage devaient, dans l'installation primitive, être rechargés pendant le jour. A ce moment on enlevait presque complètement la résistance R intercalée en avant des accumulateurs (trait ponctué) de façon à donner à ceux-ci une tension variant de 122 à 150 volts. Afin d'empêcher la surcharge des accumulateurs, durant le jour seulement, on employait un limiteur de tension constitué par un électro-aimant dont la palette, attirée dès que la tension aux bornes des accumulateurs atteignait 2,5 volts par élément, introduisait dans le circuit d'excitation de la dynamo une très forte résistance qui réduisait sa force électromotrice de façon à ne plus donner que 2,2 volts par élément, et cette réduction continuait jusqu'au prochain arrêt et où l'électro-aimant retombait, et n'agissait plus, après le démarrage suivant, que dans le cas où la force électromotrice était remontée après un certain temps à 2,5 volts.

Dans un train de banlieue, comme celui de Saint-Pölten à Vienne, il y avait grandement le temps de recharger les accumulateurs pendant le jour et les épuisements ne devaient pas être à craindre à condition de régler le relais un peu haut.

Cet essai a été abandonné après deux ans de fonctionnement quoiqu'il n'ait donné lieu à aucun ennui, m'écrivent les ingénieurs de l'état autrichien, mais parce que « toutes réparations à faire sur le fourgon unique aménagé forçait à interrompre l'éclairage, en raison de l'indivisibilité du train [1]. »

Je ne trouve pas rationnelle, au point de vue pratique la disposition adoptée dans le système Dick et qui consiste à placer sur chaque voiture une petite batterie. Puisqu'on s'astreint à l'intercommunication entre les voitures pour la canalisation du courant de la dynamo, il est inutile de diviser les accumulateurs en très petites batteries qui au total sont plus coûteuses et plus difficiles à surveiller qu'une batterie unique équivalente.

*Applications diverses.* — La compagnie de l'Ouest français va monter sur un train l'éclairage électrique, obtenu à l'aide de 2 équipements grand modèle $DV_2$ Vicarino, à simple batterie (dont la description sera donnée plus loin) et de 2 petites batteries qui seront placées dans les 2 fourgons. Les 2 groupes générateurs desserviront 2 canalisations distinctes comme dans les voitures des chemins de fer danois, avec un double accouplement par languettes et fils souple entre les voitures. On pourra de la sorte, sans interrompre la lumière, couper le train en deux, pour y intercaler par exemple une voiture non appareillée sous laquelle on attachera des câbles volants, ou simplement pour permettre la traversée des voies pendant un arrêt dans une gare importante. Mais le cas où l'on a des coupures à pratiquer sur des trains en fonctionnement n'est guère à prévoir sur les lignes de banlieue, où le système est le plus indiqué.

La Société des accumulateurs Böse a, paraît-il, réalisé à l'aide d'équipements Stone (qui seront décrits plus loin) l'éclairage d'un ou deux petits trains de chemins de fer locaux allemands.

*Observations générales.* — Les systèmes d'éclairage des trains entiers par une (ou deux) dynamo recevant son mouvement de l'essieu, s'ils n'ont encore pénétré jusqu'ici que dans deux compagnies, sont pourtant appliqués sur un nombre relativement grand de véhicules. Le fait qu'ils ont été conservés, après plus de quinze ans d'exploitation, indique bien qu'ils sont réellement avantageux pour les trains de banlieue. Il ne faut guère songer en effet à les appliquer sur les grands parcours, où l'indivisibilité des trains et la spécialisation du matériel constituent une gêne d'exploitation très grande; mais, sur les lignes de banlieue, ces 2 sujétions peuvent être acceptées, puisque, si elles étaient vraiment inadmis-

---

[1] Dans une brochure publiée en 1900, par la maison Wüste et Rupprecht, M. Dick, pour annuler l'objection d'un manque de charge possible des accumulateurs dans des trains ne circulant guère que le soir, a proposé de constituer, avec les batteries des voitures, 2 groupes d'accumulateurs distincts, dont l'un serait en charge pendant que l'autre servirait de régulateur. Le train est alors muni d'une canalisation à 3 fils formant 2 circuits avec pôle négatif commun et sur les positifs desquels sont branchées successivement les batteries des voitures qui s'étendent d'un bout à l'autre du train (un voyant rouge ou noir indique le circuit dans lequel une voiture est intercalée). On réalise ainsi un montage analogue à celui employé dans le système Stone (dont il sera parlé ensuite). La batterie A (fig. 9) reliée directement à la dynamo, reçoit les 125 à 150 volts de la dynamo, tandis que la batterie B est branchée en dérivation sur la dynamo avec interposition d'une résistance R telle, d'après M. Dick, qu'elle ne reçoive, comme dans la disposition à une seule batterie, aucun courant de charge et fournisse au contraire un léger courant de décharge pendant toute la période d'allumage. Pendant les arrêts les 2 batteries A et B sont réunies en parallèle sur les lampes, avec mise en court-circuit de la résistance d'absorption R et ouverture du disjoncteur C (trait pointillé). Pendant la marche de jour, lorsque les lampes sont éteintes, les batteries A et B sont reliées directement en parallèle sur la dynamo D, le conjoncteur C restant bien entendu fermé (trait ponctué). Pendant cette période seulement un relais empêche comme précédemment la surcharge en réduisant la tension aux bornes des accumulateurs de 2,5 volts à 2,2 ou 2,4. Ici le rôle du relais est plus justifié puisqu'on a moins à craindre l'épuisement des accumulateurs, dont une moitié est toujours en charge, même pendant la marche de nuit. On intervertit tous les jours, à l'aide d'un commutateur à main, les batteries A et B. Si le réglage est établi de cette manière, il ne se produit pas de survoltages et quand il s'agit d'un train de banlieue on n'a pas à craindre non plus l'épuisement des batteries, parce que pendant le jour on a le temps de recharger les 2 batteries branchées toutes deux sans résistance à la dynamo (trait ponctué),

sibles, les compagnies anglaises ne les auraient pas conservées si longtemps ; elles se retrouvent d'ailleurs dans les systèmes de chauffage à vapeur adoptés dans beaucoup de compagnies du continent sur une partie seulement de leur matériel. Je crois donc que si les systèmes de cette classe ne se sont pas développés ailleurs qu'en Angleterre, c'est parce que sur le continent l'organisation des compagnies de chemins de fer est différente et ne réunit pas, comme en Grande-Bretagne, en la seule main du « General Manager », la direction effective de tous les services dont la coordination est alors plus facile. Ces systèmes, s'ils ont quelques inconvénients, présentent par contre des avantages sérieux : ils sont beaucoup plus économiques et plus commodes que les systèmes par batteries indépendantes ; la dépense d'acquisition et aussi d'entretien d'accumulateurs est beaucoup moins forte, puisqu'il suffit d'emmagasiner 7 à 9 heures d'éclairage au lieu de 20 au minimum et que les accumulateurs, au lieu d'être disséminés en une série de petites batteries, peuvent être réunis en une grosse batterie. Ils sont également plus avantageux que les systèmes autogénérateurs placés sur chaque voiture, puisque les organes qui demandent de la surveillance, c'est-à-dire la dynamo et les appareils d'enclenchement et de régulation sont en nombre beaucoup plus réduits. Ces organes pourraient d'ailleurs être rendus plus simples et plus robustes qu'ils ne le sont dans les systèmes très anciens du London Brighton et du Great Northern.

Si l'on fait usage de dynamos recevant leur mouvement d'un essieu, il est à mon avis plus facile d'assurer la régularité de fonctionnement dans le cas où l'on éclaire en bloc un train entier que si l'on fait le montage sur des voitures isolées. Les trains-blocs éclairés étant en effet des trains de banlieue ont des roulements invariables et semblables pour tous, qui permettent de marcher avec un réglage déterminé une fois pour toutes (soit avec les accumulateurs à la saturation pour les systèmes anglais, soit avec les éléments toujours en décharge) et d'obtenir, comme il a été expliqué plus haut, des variations de lumière peu importantes entre l'arrêt et la pleine vitesse, et, d'un jour à l'autre, avec des systèmes à une seule batterie ; on n'a guère à craindre non plus les épuisements d'accumulateurs, parce que les trains de banlieue ont toujours des parcours de jour important pendant lesquels on a le temps de recharger la batterie. Nous verrons plus loin qu'il n'en est pas de même pour les systèmes autogénérateurs par voitures isolées, en raison de leur utilisation variable.

*b*. L'ÉNERGIE EST PRODUITE PAR UN MOTEUR SPÉCIAL. — $\beta_1$. *Avec le secours d'accumulateurs*. — Un premier essai, non suivi d'applications, a été effectué, en 1899, sur un train du Great Eastern Railway, dans lequel on avait placé, sur la locomotive, un moteur à vapeur à grande vitesse Tower, empruntant la vapeur à la chaudière et, dans le fourgon, une batterie d'accumulateurs.

Vers 1885, le train impérial russe, et je crois aussi le train impérial autrichien ont été éclairés à l'aide d'une sorte d'usine disposée dans un fourgon et comprenant une chaudière à vapeur spéciale, un moteur Brotherhood, une dynamo et une batterie d'accumulateurs. Il y a, bien entendu, un personnel spécial dans le fourgon pour la conduite de l'éclairage électrique.

Des essais ont été entrepris, vers 1887, en Amérique, par la Compagnie Pullmann, le Connecticut Railroad, la Chicago-Milwaukee-Railway et quelques autres compagnies, sur des trains de grands parcours, où l'on a placé, dans un fourgon, un moteur à vapeur à grande vitesse prenant la vapeur sur la locomotive, une dynamo et une batterie d'accumulateurs. Des systèmes de ce genre sont encore employés en Amérique, mais seulement sur quelques trains de luxe, qui peuvent être accompagnés par un agent du fourgon capable de faire fonctionner les appareils électriques.

Les systèmes de cette catégorie présentent, au point de vue des dépenses d'aménagement et d'entretien, les mêmes avantages que ceux de la classe *a*, mais plus accentués, puisque la vitesse de la dynamo restant à peu près constante, il n'y a pas à prévoir les organes un peu délicats de conjonction et de régulation de la dynamo. En revanche, une dynamo, commandée par l'essieu, peut être abandonnée à elle-même, tandis qu'il faut un agent spécial pour mettre en marche et surveiller un moteur à vapeur quand il est placé dans le fourgon ; il en résulte une dépense considérable, ce qui fait perdre tous les avantages d'économie du système, qui devient le plus onéreux de tous les systèmes électriques. Il est vrai que cette considération n'a pas d'importance pour des trains impériaux.

La dépense de surveillance disparaît si le moteur à vapeur peut être placé sur la locomotive et conduit par le mécanicien. Ce procédé n'a pourtant été essayé qu'une seule fois. Si l'on n'a pas poursuivi les recherches dans cette voie, c'est probablement parce que l'on a pensé qu'il serait difficile de trouver, sur une locomotive, la place suffisante pour loger un moteur et une dynamo de puissance convenable. La Société française Laval avait bien proposé, il y a deux ou trois ans, aux Compagnies françaises, un groupe turbine-dynamo de 30 chevaux, de dimensions assez réduites pour remplir ces conditions, mais ce procédé n'a pas été bien accueilli à cause de la grande consommation de vapeur qu'aurait causé un groupe de ce genre, 28 kg de vapeur par cheval effectif, d'après les essais effectués sur les fourgons du Transsibérien.

$\beta_2$. *Sans accumulateurs.* — Des essais ont été exécutés, en 1883, sur la ligne de Munich à Starnberg, et en 1889, sur le Métropolitain de Londres, en plaçant dans un fourgon une petite chaudière, un moteur à vapeur et une dynamo ; ils ont été peu satisfaisants et ont été abandonnés, probablement parce que les appareils étaient rudimentaires et peu étudiés.

Je sais, par des Ingénieurs des Wagons-Lits, que le système est appliqué, en Russie, sur un certain nombre de grands trains. Il est également appliqué sur tous les trains du Transsibérien, dont on pouvait voir un spécimen à Paris, en 1900, à l'Exposition. Dans un fourgon, contenant quelques resserres et quelquefois une cuisine, est intallé un groupe générateur d'électricité, composé d'une chaudière genre Field, système Schoukkoff, chauffée au bois, volumineuse mais robuste, une turbine Laval de 10 chevaux et une dynamo pouvant donner 110 volts et 35 ampères. Le combustible ne coûtant rien, la consommation élevée de vapeur n'offre aucun inconvénient et la conduite de l'installation ne cause pas grande dépense supplémentaire, parce que dans les trains de ce genre, qui sont toujours accompagnés par un personnel assez nombreux, le mécanicien est chargé des diverses réparations du matériel.

On a proposé, dans ces derniers temps et le système serait, d'après le rapport au Congrès des chemins de fer, appliqué sur un certain nombre de trains du Cap, d'actionner la dynamo par un moteur à pétrole placé dans un fourgon. Mais ces moteurs demandent à être surveillés attentivement, car ils se dérèglent facilement ; le réservoir d'essence constitue en outre un danger d'incendie assez grand.

Si l'on admet une chaudière spéciale ou un moteur à pétrole dans le fourgon, le système, malgré son extrême simplicité, ne paraît pas susceptible de grandes applications, parce qu'il devient très onéreux par l'obligation d'avoir un mécanicien spécial dans le fourgon.

Le système pourrait toutefois, à mon avis, recevoir de nombreuses applications en le limitant aux trains de banlieue ou de petites lignes, et ils sont nombreux, qui effectuent leur voyage complet sans changer de machine. On pourrait, en effet, dans ces conditions spéciales, placer un moteur à vapeur et une dynamo sur la locomotive même, qui fournirait la

vapeur. L'absence d'un générateur de vapeur ou d'un moteur à pétrole rendrait inutile la présence d'un agent spécial de surveillance ; le mécanicien pourrait, sans difficulté, jeter un coup d'œil sur les machines pendant les arrêts. Ce procédé est certainement celui qui donnerait le prix de revient le plus bas de l'éclairage électrique. Le projet est parfaitement réalisable, sans même avoir recours aux turbines à vapeur, dont la consommation de vapeur est considérable pour les petites puissances. La maison Chaligny, par exemple, avait proposé à la Compagnie des Wagons-Lits, pour l'équipement des fourgons du Transsibérien, un groupe, moteur pilon compound et dynamo commandée par courroie, qui avait à peu près le même encombrement que le groupe turbine Laval-dynamo. Ce constructeur m'a montré l'avant-projet établi sur ma demande, d'un groupe électrogène de 6000 watts composé avec une dynamo d'un type quelconque tournant à 1 200 tours, logée dans le bâti d'un moteur compound de 10 chevaux effectifs, à la pression de 8,5 kg : $cm^2$ et à la vitesse angulaire de 400 tours par minute. Ce moteur est d'un type absolument courant, dont elle a livré plus de 200 exemplaires pour canots de la marine française et pour lequel elle garantit une consommation de 12 kg au maximum par cheval effectif et une variation de vitesse inférieure à 5 p. 100 ; la quantité de vapeur empruntée à la locomotive serait donc minime et la lumière bien suffisante. L'engrenage serait logé dans un carter rempli de graisse consistante et le tout, enveloppé dans une chemise en tôle, pourrait, je crois, trouver place sur presque toutes les machines de trains omnibus, car les dimensions d'encombrement ne seraient que de 0,80 m × sur 0,75 m sur 1,30 m de haut, c'est-à-dire inférieures à celles d'un groupe turbine Laval-dynamo de 10 chevaux ; le poids du moteur n'étant que de 225 kg, le groupe pèserait au total 500 kg environ. Il serait facile de parer à la difficulté résultant de ce que les locomotives, dans les grandes gares de Paris, ne peuvent souvent être attelées que cinq minutes avant le départ du train, à l'aide d'un artifice analogue à celui qui a été employé pour le chauffage des trains par la vapeur de la machine sur la banlieue de l'Est : en attendant l'arrivée de la locomotive, les trains déjà formés pourraient être éclairés facilement par un branchement pris sur la canalisation d'éclairage du quai.

Les systèmes dans lesquels le courant nécessaire à tout le train est produit par un ou deux groupes générateurs (classe *B*-I), obligent à placer une conduite générale avec accouplement entre les voitures, qui entraînent à des sujétions qui ont été expliquées en détail pour les systèmes de la catégorie *a*. Ces systèmes sont donc peu pratiques pour les trains de grande ligne à composition variable.

Ch. JACQUIN.

(*A suivre*).

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## TÉLÉGRAPHIE

***Les bases scientifiques de la télégraphie sans fil***, par **A. Slaby**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, 27 février 1902.

Un article paru récemment dans cette revue [1] a rendu compte d'une façon succincte, au double point de vue théorique et expérimental, des travaux du professeur Slaby dans le domaine de la télégraphie sans fil.

*L'Elektrotechnische Zeitschrift*, du 27 février 1902, contient sur le même sujet des développements intéressants dont l'analyse suivante pourra compléter utilement l'article de *L'Éclai-*

[1] Notes sur la télégraphie sans fil en Allemagne. — *Éclairage Electrique*, t. XXX, p. 121, 25 janvier 1902.

*rage Électrique* auquel nous faisons allusion.

Dans sa première communication, M. Slaby détaille d'abord quelques expériences fondamentales dont la plupart ont déjà été mentionnées brièvement.

A. Production des oscillations. — *Expériences*. — 1. Un fil de cuivre nu de 10 m de long et 1 mm de diamètre, est tendu isolé, et excité par des étincelles jaillissant de l'un des pôles d'une bobine. Pour obtenir de fortes étincelles, il est bon de relier l'autre pôle de la bobine à la terre, ou à une capacité suffisante (fig. 1).

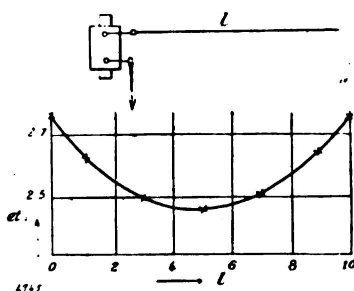


Fig. 1.

Le fil est parcouru par un courant alternatif à pulsations rapides dont les amplitudes diffèrent, non seulement dans le temps, mais aussi dans l'espace. La vibration électrique dont le fil est le siège est complètement indépendante du mode de production des étincelles et de leur fréquence. Elle présente constamment une allure bien déterminée sur toute la longueur du fil; on peut par conséquent parler d'une vibration propre du fil, et ne voir dans l'étincelle que la cause électrique excitant et entretenant cet état vibratoire déterminé.

On peut même reconnaître le caractère de la vibration, comme il a déjà été dit, en déterminant en chaque point, soit les courants avec un appareil thermique, soit les tensions de charge à l'aide d'un micromètre à étincelles.

Les recherches suivantes ont été faites avec un micromètre dont le limbe divisé permet de lire les longueurs d'étincelles jusqu'à 0,01 mm. Les étincelles ne sont pas produites entre deux boules ou deux pointes, mais entre un cône métallique émoussé et un petit crayon de lampe à arc de 3 mm de diamètre ; les lectures sont faites dans un endroit sombre. On distingue ainsi très nettement les étincelles blanches de la décharge, et on mesure bien les tensions maxima.

L'exploration du fil considéré (fig. 1) avec le micromètre donne des étincelles de différentes longueurs qui sont portées comme fonction de la distance *l*. On reconnaît *une onde stationnaire dans le fil avec les ventres de tension aux extrémités et un nœud relatif au milieu.*

Si l'étincelle ne jaillit pas sur l'extrémité, mais à un autre point du fil (fig. 2), ce dernier

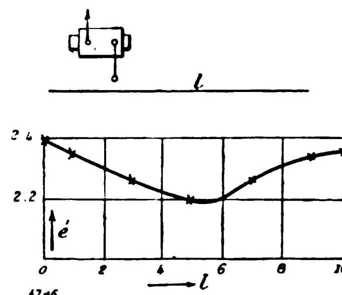


Fig. 2.

est encore le siège de la même vibration avec un point nodal au milieu. La forme de l'onde perd cependant sa régularité.

D'après cela, dans la vibration propre d'un fil, on doit concevoir les extrémités comme étant, pour les oscillations électriques, des points de réflexion qui délimitent naturellement une demi-longueur d'onde stationnaire.

D'autres vibrations d'ordre supérieur ou harmoniques accompagnent bien la vibration fondamentale, mais leur intensité est tellement moindre que, le plus souvent, elles peuvent être négligées dans les applications pratiques.

En résumé, chaque ébranlement électrique que subit un fil droit le porte à sa vibration propre, et la fréquence de l'ébranlement excitateur n'a pas besoin d'être d'accord avec celle de la vibration propre du fil — il n'est question, bien entendu, que de la nature de la vibration, et non pas de son intensité qui, au contraire, devient beaucoup plus considérable quand il y a résonance.

2. Dans la disposition de la figure 3, le fil entier est encore mis en vibration propre, et cela comme si les deux moitiés étaient réunies à l'étincelle par un pont conducteur. Seulement, si l'on veut vérifier le fait sur le fil lui-même, il faut mettre à la terre l'extrémité intérieure (celle située près de la bobine) de la moitié à explorer ; autrement, la tension secondaire lentement oscillante du pôle de la bobine donne

lieu au micromètre à des étincelles qui couvrent celles beaucoup plus petites dues aux oscillations rapides de la décharge [1].

La figure 3 montre les longueurs d'étincelle mesurées dans une telle expérience, en fonction

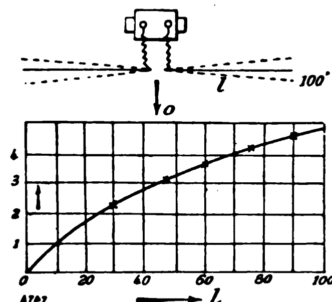


Fig. 3.

de la distance à l'étincelle principale. On utilisait comme conducteurs deux fils de laiton de 1 m de longueur et 3 mm de diamètre, et la décharge se faisait sans boules, directement entre les conducteurs arrondis.

La courbe obtenue est une sinusoïde et montre que *la vibration suit la loi harmonique avec une approximation suffisante pour les applications pratiques.*

L'accroissement de tension vers les extrémités peut être décelé par un procédé photographique [2] ; il est même visible directement, grâce à l'illumination du fil, si l'étincelle de décharge éclate dans l'huile et si l'on emploie de fortes tensions de décharge.

3. Les courants oscillatoires suivent une marche analogue, mais sont décalés en chaque point de 90° sur les tensions : *il y a un ventre de courant à l'étincelle et des nœuds aux l'extrémités.*

(1) C'est pour avoir oublié cette précaution, dit M. Slaby, que le professeur Braun a pu contester les résultats obtenus et prétendre que « bien qu'il se produise incontestablement des oscillations, on n'arrive pourtant pas, à cause du fort amortissement, à la formation sur le fil, d'une onde bien prononcée. » Comme preuve de ce qu'il avançait, M. Braun fixait au fil 5 tubes de Geissler, à égale distance, qui ne laissaient apercevoir aucune différence dans leur intensité lumineuse. Si M. Braun avait mis l'extrémité intérieure du fil à la terre, comme il est dit ci-dessus, il aurait remarqué immédiatement un accroissement très intense de la clarté vers l'extrémité libre du fil.

(2) *Éclairage Électrique* t., XXX, p. 122, 25 janvier 1902.

On peut le montrer en constituant les deux conducteurs par des lampes à filaments linéaires, placées en série (fig. 4) [1].

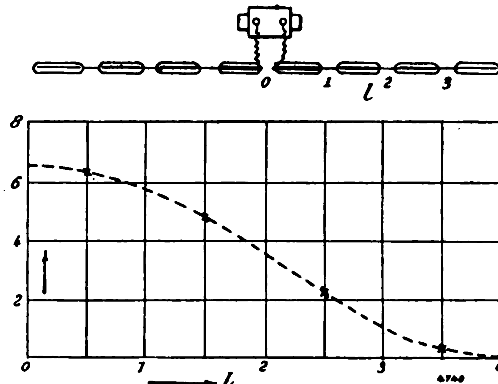


Fig. 4.

4. Si l'on tend, parallèlement au fil primaire, un fil secondaire isolé de longueur convenable, des impulsions électriques se transportent sur ce dernier. Il vibre, comme dans l'expérience 1, en sa vibration propre, avec des ventres de tension aux extrémités et un nœud relatif au milieu.

Si, au début, le fil secondaire est plus long que le fil primaire et si on le raccourcit successivement de longueurs égales, des deux côtés, les tensions aux extrémités subissent d'abord un accroissement, puis diminuent de nouveau après un certain maximum (fig. 5).

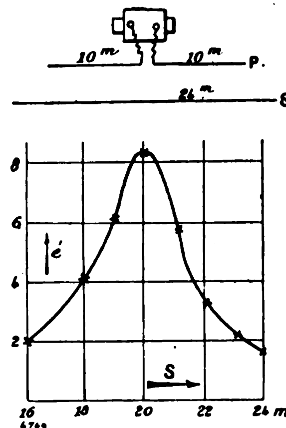


Fig. 5.

Désignons la longueur du secondaire correspondant à ce maximum de tension sous le nom

(1) *Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 122.

de *longueur de résonance;* pour elle, la fréquence propre du secondaire est en accord avec la fréquence des vibrations émanant du primaire. Comme, d'après ce qui est dit ci-dessus, la longueur du fil vibrant est égale à la moitié de la longueur d'onde de sa vibration propre, la longueur de résonance du secondaire représente en même temps la moitié de la longueur d'onde des vibrations produites par le primaire.

Pour des fils plus longs, la demi-longueur d'onde se trouve constamment égale à la longueur du fil primaire. *La fréquence du courant d'étincelle se régularise automatiquement* de façon à s'accorder avec la fréquence propre du système de fils excités par l'étincelle; la première s'ajuste pour ainsi dire sur la seconde.

5. Le fait que la longueur d'onde produite est en rapport si simple avec la longueur du fil transmetteur pouvait être accidentel et se rapporter simplement aux dimensions de fil choisies.

Pour élucider la question, M. Slaby s'est servi de transmetteurs très variés : *fil de cuivre* de 0,25 mm de diamètre, *tube de laiton* de 51 mm de diamètre extérieur avec calottes terminales, *ruban de laiton* de 1,51 mm² de section. La longueur de résonance était déterminée dans tous les cas avec un fil de cuivre de 1 mm de diamètre.

Le tableau suivant donne les résultats trouvés :

| TRANSMETTEUR | LONGUEUR du primaire en cm. | LONGUEUR de résonance. | DIFFÉRENCE p. 100. |
|---|---|---|---|
| 1 Fil de cuivre de 0,25 mm. | 724 | 735 | + 1,5 |
| 2 Tube de 51 mm. . . . . . | 724 | 710 | — 1,9 |
| 3 Ruban placé de champ \| | 724 | 710 | — 1,9 |
| 4 Ruban à plat — . . . . . | 724 | 710 | — 1,9 |

Malgré la très grande diversité des sections employées, les écarts entre la longueur de résonance et la longueur du transmetteur restent en dessous de 2 p. 100; ces écarts peuvent, d'ailleurs, être attribués en partie à l'imperfection de la méthode de mesure employée.

Dans les applications techniques en vue, des différences de ce genre ne peuvent pas entrer en ligne de compte.

*Théorie.*— Les résultats expérimentaux qui précèdent peuvent être prévus par le calcul. La question a été traitée d'une façon complète avec des développements mathématiques étendus par M. Abraham qui prend comme point de départ les équations de Maxwell [1]. Mais M. Slaby, pour rester plus à la portée de la majorité des techniciens, a suivi un chemin plus court et plus élémentaire, qui le conduit néanmoins au même résultat général.

Le problème se présente de la manière suivante :

Deux fils d'égale longueur $l$ sont disposés en ligne droite et reliés aux pôles d'une source

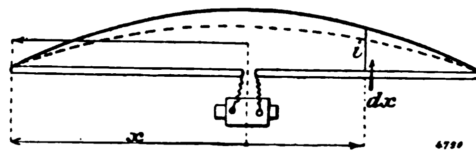



Fig. 6.

convenable à haute tension (fig. 6). La distance des extrémités qui se font face est telle qu'une décharge par étincelle se produit aussitôt que la tension de charge a atteint sa valeur la plus haute.

Avant la décharge, la charge doit être considérée comme répartie uniformément; toutes les parties de chaque conducteur prennent un potentiel égal. Mais, aussitôt que la décharge se produit, les charges voisines de l'étincelle donnent immédiatement naissance à un courant maximum, l'étincelle pouvant être considérée comme une résistance sans self-induction. Les charges plus éloignées donnent des courants moindres, car elles ont à surmonter la résistance et la self-induction du conducteur.

Soit $i$ le courant instantané à une distance $x$ de l'extrémité extérieure du fil, au temps $t$ immédiatement après la production de la décharge; pour $x = l$, $i$ doit avoir la plus grande valeur et décroître symétriquement des deux côtés de l'étincelle.

La courbe $i = f(x)$ aura à peu près la forme indiquée dans la figure 6 et s'aplatira dans le cours ultérieur de la décharge comme le montre la ligne ponctuée.

Soient :

$dV$, la différence de potentiel aux extrémités de l'élément $dx$ du conducteur,

(1) *Annalen der Physik.*, 1898, p. 435 et suiv.

$R_1, C_1, L_1$, la résistance, la capacité, la self-induction par unité de longueur du fil.

Pour l'élément de conducteur $dx$, on doit avoir l'équation :

$$dV = R_1\, dx\, i + L_1\, dx\, \frac{di}{dt},$$

et si $dq$ est la charge par unité de longueur

$$dV = \frac{dq.\, dx}{C_1\, dx} = \frac{dq}{C_1}.$$

Si l'on considère l'élément $dx$ (fig. 7), et

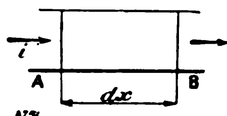



Fig. 7.

qu'on prenne une direction de courant donnée, dans le temps $dt$, il entre en A la quantité d'électricité

$$idt\,;$$

il sort en B

$$\left(i - \frac{di}{dx}\, dx\right) dt.$$

La différence est la charge

$$dqdx = \frac{di}{dx}\, dx\; dt.$$

D'où

$$dq = \frac{di}{dx}\, dt$$

et

$$dV = \frac{1}{C_1}\, \frac{di}{dx}\, dt.$$

La $1^{re}$ équation devient

$$\frac{1}{C_1}\, \frac{di}{dx}\, dt = R_1\, dx\, i + L_1\, dx\, \frac{di}{dt},$$

ou en dérivant par rapport à $x$

$$\frac{1}{C_1}\, \frac{d^2 i}{dx^2} = R_1\, \frac{di}{dt} + L_1\, \frac{d^2 i}{dt^2}. \qquad (1)$$

Cette équation différentielle est satisfaite par la valeur

$$i = e^{\rho t}\, (A \cos mx + B \sin mx) \qquad (2)$$

si les constantes remplissent l'équation de condition :

$$L_1\, \rho^2 + R_1 \rho + \frac{m}{C_1} = 0. \qquad (3)$$

Les conditions aux limites sont :

pour $t = 0$ et $x = 0$,

$$0,\ i = 0;$$

pour $t = 0$ et $x = 2l$,

$$i = 0.$$

Il en résulte

$$A = 0 \quad \text{et} \quad m = \frac{\pi}{2l},$$

si les harmoniques sont négligées pour le motif allégué ci-dessus.

Alors

$$i = e^{\rho t}.\, B \sin \frac{\pi}{2l}\, x$$

avec

$$\rho = -\frac{R_1}{2L_1} \pm \sqrt{\frac{R_1^2}{4L_1^2} - \frac{1}{C_1 L_1}\, \frac{\pi^2}{4l^2}}.$$

Dans tous les cas de la pratique, le $1^{er}$ terme sous le radical peut être négligé devant le second, et on a pour $\rho$ les deux valeurs :

$$\rho_1 = -\frac{R_1}{2L_1} + \sqrt{-1}\, p$$

$$\rho_2 = -\frac{2L_1}{R_1} - \sqrt{-1}\, p$$

avec

$$p = \sqrt{\frac{1}{C_1 L_1}}\, \frac{\pi}{2l}.$$

La solution générale est donc :

$$i = B.\, \sin \frac{\pi}{2l}\, x.\, e^{\frac{-R_1}{2L_1}} \left(De^{ipt} + Ee^{-ipt}\right),$$

ou

$$i = a.\, e^{\frac{-R_1}{2L_1} t} \sin \frac{\pi}{2l}\, x.\, \sin (pt + \delta),$$

$a$ et $\delta$ représentent des constantes dont la valeur se déduit de la considération suivante :

Au temps $t$ infiniment petit, c'est-à-dire au commencement de la décharge, au point $x = l$ ou à l'étincelle, le courant doit être le plus grand possible, condition qui n'est remplie que si $a$ désigne le courant maximum et si $\delta = \frac{\pi}{2}$.

Si au lieu des constantes électriques par unité de longueur $R_1, C_1, L_1$, nous introduisons maintenant les valeurs $R, C, L$ concernant tout le trajet vibratoire

$$R = 2lR_1,\ C = 2lC_1,\ L = 2lL_1$$

on arrive à l'équation finale suivante :

$$i = a . \sin \frac{\pi}{2l} x . e^{\frac{-R}{2L}t} \cos\left(\pi \sqrt{\frac{1}{CL}} . t\right) \quad (4)$$

Elle montre que, en chaque point du fil, il y a un courant alternatif amorti ; les amplitudes sont différentes dans l'espace et décroissent harmoniquement depuis l'étincelle ($x = l$) jusqu'aux extrémités.

Mais tous les courants alternatifs suivent également la même loi harmonique dans le temps ; leur période T est partout la même ; elle se déduit de

$$\pi \sqrt{\frac{1}{LC}} T = 2\pi.$$

D'où

$$T = 2\sqrt{CL} \quad (5)$$

Maintenant, les oscillations électriques se propagent le long des fils tout comme à travers l'espace avec la vitesse

$$v = 3.10^{10} \text{cm}.$$

et la distance de deux points successifs ayant même phase, ou longueur d'onde, est

$$\lambda = vT = 2v\sqrt{CL}$$

où C et L sont exprimés en unités électromagnétiques.

Mais on peut aussi écrire

$$\lambda = 2\sqrt{(v^2C)\,L} ;$$

$v^2C$ est la grandeur de la capacité en unités électrostatiques. On arrive ainsi pour la longueur d'onde à l'expression simple

$$\lambda = 2\sqrt{CL},$$

où C et L sont exprimés en centimètres.

Pour le coefficient de self-induction d'un fil dont la longueur est $2l$ et le rayon $r$, Hertz employait une expression déduite de la formule de Neumann

$$L = 4l\left(\log_e \frac{4l}{r} - 0,75\right).$$

M. Poincaré tient pour plus exacte la formule

$$L = 4l\left(\log_e \frac{4l}{r} - 1\right),$$

parce qu'elle tient compte de l'hypothèse que les courants restent exclusivement à la surface du fil.

Pour un fil de 50 m de long et 1 mm de rayon, les deux valeurs diffèrent d'environ 2 p. 100 ; aussi M. Slaby conserve la première formule qui conduit à un résultat plus simple (d'autant plus qu'il règne encore dans chacune une certaine incertitude due à ce que la formule de Neumann n'a pas encore été vérifiée expérimentalement par des courants ouverts).

Comme 0,75 est presque égal à $\log_e 2$, on peut écrire :

$$L = 4\, l \log_e \frac{2l}{r}.$$

La capacité électrostatique d'un fil de longueur $2l$, en ne tenant pas compte du voisinage de la terre ou d'autres masses conductrices, est

$$C = \frac{2l}{2 . \log_e \frac{2l}{r}}$$

Il vient alors, en employant ces valeurs de L et C

$$\lambda = 2\sqrt{CL} = 4l.$$

Et le calcul donne ainsi une confirmation complète du résultat expérimental précédemment énoncé.

*La longueur totale du fil vibrant détermine la demi-longueur d'onde de la vibration produite.*

L'auteur considère ensuite la charge maxima moyenne dans l'espace Q et l'intensité maxima moyenne dans l'espace I ; il détermine leurs valeurs d'après celles des valeurs locales données par les équations précédentes, et, *en négligeant l'amortissement*, il arrive à la relation suivante, entre ces deux quantités :

$$\frac{I^2}{4} = \frac{Q^2}{CL}$$

ou, en faisant intervenir les coefficients pour un seul fil de longueur $l$

$$C' = \frac{C}{2} \quad \text{et } L' = \frac{L}{2},$$

il vient

$$\frac{Q^2}{2C'} = \frac{L' I^2}{2}$$

c'est-à-dire que :

L'énergie de charge fournie aux fils par la source à haute tension se transforme en énergie

électromagnétique (courant), et il se produit un état vibratoire caractérisé par une oscillation pendulaire de l'énergie entre ces deux formes.

L'énergie de charge produit, il est vrai, certaines actions électrostatiques à distance; mais elles n'ont pas grande portée et, à de grandes distances du primaire, elles se neutralisent même, puisque les charges des deux moitiés du fil sont de signe contraire.

L'action à distance proprement dite doit, au contraire, être attribuée à la forme électromagnétique de l'énergie et suit les lois connues de l'induction.

Il résulte de là que, pour les actions à distance, le courant le plus convenable sera un courant linéaire, et que l'on devra employer de longs fils droits et parallèles.

Les transformations successives de l'énergie ne se font pas sans pertes, et, à chaque changement d'une forme en l'autre, une partie est perdue. C'est ce qui cause l'amortissement des vibrations. Dans les formules obtenues, cet amortissement est exprimé par le terme qui avait été laissé de côté

$$e^{\frac{-R}{2L}t}.$$

Et l'importance de cet amortissement dépend de la grandeur de l'expression

$$\frac{R}{2L}T = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

Les pertes sont de trois sortes : 1° la perte par effet Joule;

2° Les pertes de charge dues à ce que l'air environnant n'a pas une rigidité diélectrique parfaite;

3° Le rayonnement d'énergie électromagnétique dans l'espace; et c'est cette dernière partie qui représente, à proprement parler, le travail utilisable dans l'application en vue.

L'importance relative de ces différentes pertes d'énergie doit être examinée dans la suite par l'auteur, en même temps que les différentes formes de transmetteurs.

B. Réception des oscillations. — Puisque, d'après l'auteur, les effets à distance sont dus surtout à des phénomènes d'induction, les actions reçues doivent être maxima, lorsque le fil récepteur est parallèle au transmetteur.

En fait, si l'on fait passer ce fil récepteur d'une position parallèle à une position perpendiculaire, toute action cesse, et elle disparaît même déjà presque complètement pour un angle de 30 à 40°.

L'expérience 4 a montré, de plus, que l'action maxima se produit quand le fil récepteur a la même longueur que le transmetteur, c'est-à-dire quand la fréquence propre du secondaire est d'accord avec la fréquence des vibrations primaires.

M. Slaby reprend, dans sa communication, les différentes expériences déjà indiquées dans l'article auquel nous avons déjà référé (1), lesquelles donnent des éclaircissements sur l'état vibratoire du fil récepteur pour différentes dispositions et diverses formes de ce fil.

Nous ajouterons simplement les courbes obtenues dans chaque cas; les tensions en différents points, représentées par les longueurs d'étincelle au micromètre, y sont portées comme ordonnées en fonction des distances à une extrémité du fil.

Dans ces expériences, le transmetteur consistait en deux tiges de laiton poli de 3 mm de diamètre et de 1 m de long chacune, avec bouts arrondis. Ces tiges, passant dans les douilles filetées, entraient dans un vase en ébonite rempli de pétrole, et c'est à l'intérieur qu'éclatait l'étincelle produite par une bobine de 15 cm.

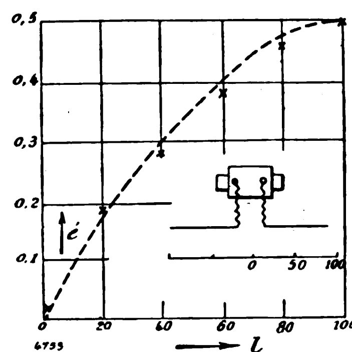



Fig. 8.

6. La figure 8 correspond à une tige secondaire de 2 m de long, placée parallèlement aux tiges primaires, à 1 m de distance.

7. La figure 9 correspond à une tige secon-

(1) *Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 123 et suiv.

daire de 1 m, c'est-à-dire égale à une des moitiés seulement du primaire; le fil vibre encore, dans ce cas, en une demi-longueur d'onde;

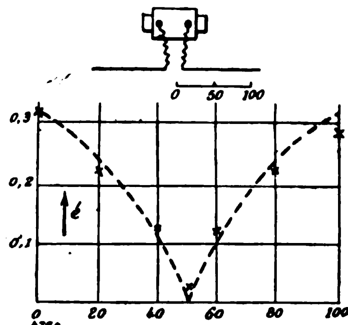


Fig. 9.

mais elle n'est que la moitié de la demi-longueur d'onde primaire; la fréquence est double; la tige vibre dans un ton supérieur.

Il est à remarquer que, dans ce cas, les tensions aux extrémités sont environ la moitié de ce qu'elles étaient dans l'expérience 6.

8. Si l'on met, dans le prolongement du fil récepteur, un deuxième fil, sans liaison avec le

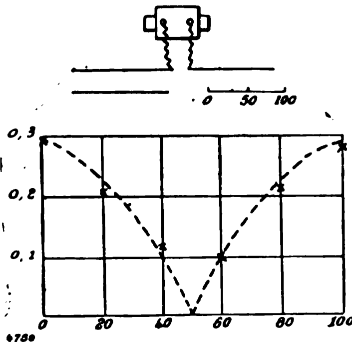


Fig. 10.

premier (fig. 10), la vibration reste la même que dans le cas précédent.

9. Le fil récepteur est coudé à angle droit, les deux branches égales chacune à 1 m (fig. 11). Il vibre de nouveau dans le ton fondamental, c'est-à-dire avec la fréquence des vibrations imprimées. Le ventre de tension à 100′ est toujours un peu plus petit qu'à 100. Au sommet de l'angle, le micromètre n'accuse pas la moindre tension.

10. Si les côtés de l'angle droit sont inégaux, les vibrations sont plus compliquées. La figure 12 montre que, pour un rapport des branches égal à 1 : 2, le fil total vibre dans une longueur d'onde entière avec des ventres au milieu et aux extrémités; mais, en plus, à cette onde principale se superpose la moitié

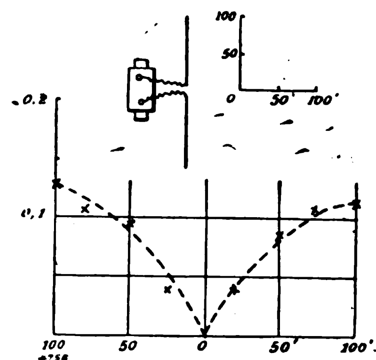


Fig. 11.

d'une autre de longueur double, qui possède son nœud au milieu du fil. Dans la figure, on a tracé l'onde résultante des deux sinusoïdes composantes. Elle suit la même marche générale que l'onde principale et en diffère peu.

11. Dans une boucle, telle que celle de la figure 13, chacun des deux fils AB et CD vibre

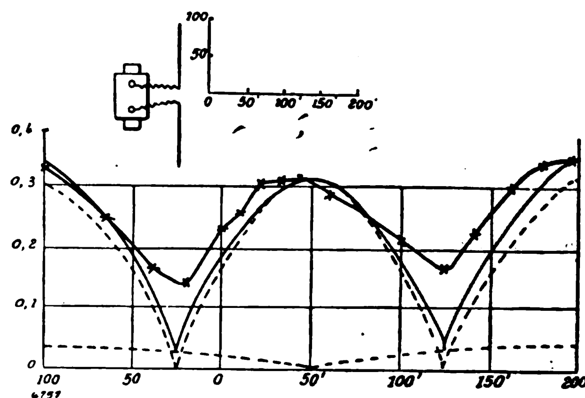


Fig. 12.

en une demi-longueur d'onde, avec un nœud au milieu, comme si l'autre n'existait pas. Les potentiels en A et D sont exactement égaux.

Si la boucle est coupée entre B et C, on obtient la courbe de la figure 14, semblable à celle de la figure 13. En faisant tourner le plan de la boucle de 90°, on arrive au même résultat.

12. Si on relie maintenant à la boucle deux fils de prolongement perpendiculaires, de chacun 1 m de long (fig. 15), chaque angle droit vibre dans une

demi-longueur d'onde avec un nœud au som-

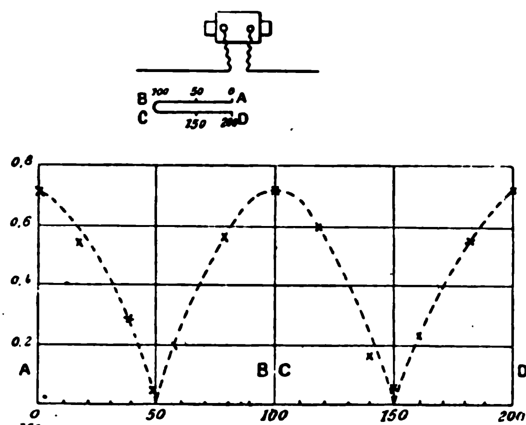



Fig. 13.

met, et cela tout comme si l'autre angle n'existait pas.

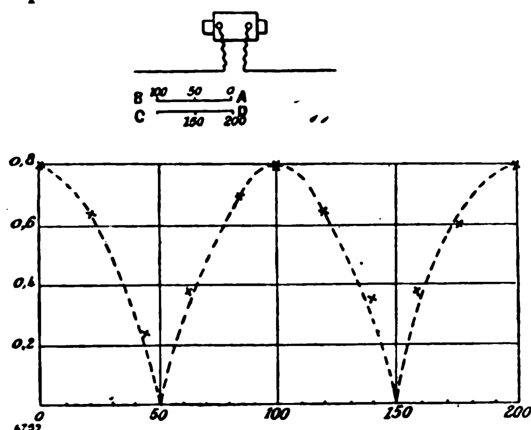



Fig. 14.

La tension terminale en 100′ et en A était de

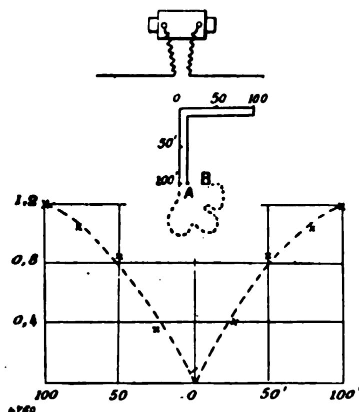



Fig. 15.

1,18 (indication de micromètre); il n'y avait entre ces deux points, aucune différence de phase. Mais, dès qu'en 100′ on eut relié un fil additionnel de 2 m, le micromètre donna, entre

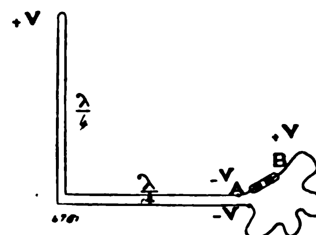
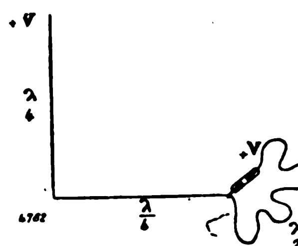



Fig. 16.

A et B, la tension 2,01. Des fils additionnels d'autres longueurs donnent d'autres tensions, mais c'est toujours pour 2 m qu'on a la tension




Fig, 17.

maxima. Cette longueur correspond toujours ainsi à la plus grande différence de phase (180°).

Ces expériences conduisirent à des montages

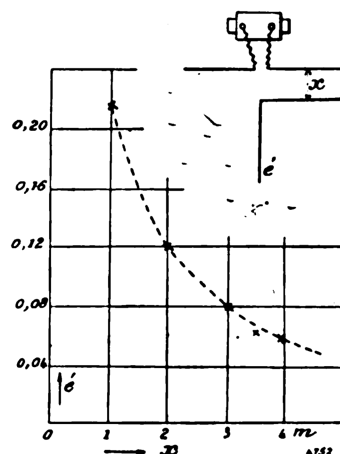



Fig. 18.

de récepteurs déjà indiqués et représentés dans les figures 16 et 17.

Le point O, qui est un nœud de tension, peut

être relié à la terre, et la branche verticale peut être un conducteur déjà existant, relié naturellement à la terre.

13. Enfin, pour déterminer la loi de variation de l'action avec la distance, M. Slaby mesura les tensions à l'extrémité du fil de prolongement (fig. 18), pour différentes distances.

La courbe obtenue est voisine d'une hyperbole; on constate, au moins en dedans des limites des recherches, une diminution assez exacte de l'action avec la première puissance de la distance [1]. J. Reyval.

## DIVERS

***Relations entre les propriétés magnétiques et la conductibilité électrique des matériaux magnétiques***, par **E. Gumlich**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. III, p. 101, 6 février 1902.

L'auteur rapporte les résultats d'essais faits par Barrett, Brown et Hodfield, et consignés dans le bulletin de la Société royale de Dublin (1901), sur différents matériaux contenant des proportions variables d'aluminium et de silicium.

La table suivante donne un résumé de ces essais :

| MARQUES | COMPOSITION CHIMIQUE en p. 100. | | | RÉSISTANCE par mm². | | PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Al | C | Si | non recuit. | recuit. | $\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_0$ pour $\mathcal{H} = 45$. | Rémanent | Force coercitive. | $\mu$ pour $\mathcal{H} = 8$. | $\mu$ maximum. | Perte par hystérésis pour $\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_0$ | $\eta$ de Steinmetz |
| 1167 D . | 0,75 | 0,17 | 0,10 | 0,248 | 0,220 | 16 500 | 11 000 | 2,00 | 1 517 | 2 700 | 11 620 | 0,0021 |
| 1167 H . | 2,25 | 0,24 | 0,18 | 0,463 | 0,390 | 16 500 | 11 300 | 1,87 | 1 620 | 2 950 | 10 960 | 0,00195 |
| 1167 J. . | 5,50 | 0,22 | 0,20 | 0,781 | 0,700 | 13 410 | 4 500 | 1,43 | 1 095 | 1 550 | 6 825 | 0,0017 |
| Fer B. . | — | 0,03 | 0,14 | 0,111 | 0,109 | 17 480 | 10 600 | 1,66 | 1 560 | 3 100 | 11 090 | 0,0018 |
| 898 E.. . | — | 0,20 | 2,5 | 0,471 | 0,421 | 16 640 | 8 000 | 0,90 | 1 680 | — | — | — |
| 898 H . . | — | 0,26 | 5,5 | 0,688 | 0,652 | 16 480 | 6 900 | 0,85 | 1 680 | 4 000 | 6 500 | 0,00115 |
| SCJ. . . | — | 0,028 | 0,07 | 0,105 | 0,102 | 16 750 | 9 400 | 1,62² | — | 2 800 | 10 100 | 0,00175 |

On remarquera que l'addition d'une quantité d'aluminium atteignant 5,5 p. 100 augmente la résistance électrique, dans le rapport de 1 à 7, tandis que le magnétisme rémanent, la force coercitive et le coefficient $\eta$ de Steinmetz s'abaissent dans d'assez notables proportions; l'action du silicium est analogue.

A. M.

***Ionisation des gaz par le choc des ions***, par **J. Stark**. *Drude's Annalen*, t. VII, p. 417-440, fév. 1902.

L'auteur adopte les définitions suivantes :

*Electron :* élément de masse matérielle, environ 1 000 fois plus petit que l'atome chimique; il peut être libre comme dans les rayons cathodiques; il peut être maintenu à l'intérieur de l'atome chimique comme dans le phénomène de Zeeman.

*Ion :* masse électrique élémentaire libre sans égard à la masse matérielle.

*Ionisation :* phénomène par lequel une particule neutre se transforme en ions positifs et négatifs.

*Ionisant :* cause qui est susceptible de produire l'ionisation (rayons de Roentgen, rayons de Becquerel, choc d'un ion en mouvement).

*Degré d'ionisation :* nombre des ions dans l'unité de volume.

*Energie potentielle des ions*, $e_i$ : énergie relative que possèdent deux ions l'un par rapport à l'autre quand l'ionisation est complète.

*Travail d'ionisation*, $a_i$ : travail qu'il faut dépenser pour l'ionisation ; en général, il n'est pas transformé intégralement en énergie potentielle, il est donc plus grand que celle-ci, le

(1) Il va sans dire que toutes ces expériences de M. Slaby, étant faites à de petites distances, dans des conditions bien déterminées, les résultats trouvés, qui sont très nets et très concluants, ne sauraient quand même être étendus, sans d'autres vérifications expérimentales, à de très grandes distances, telles que celles obtenues couramment maintenant en télégraphie sans fil. Comme nous l'avons déjà dit dans un précédent article, elles ne pouvaient qu'indiquer une marche à suivre, une nouvelle voie de recherches qui paraît d'ailleurs avoir été couronnée de succès. *N. d. T.*

rapport $\frac{e_i}{a_i}$ sera le *coefficient d'activité* de l'ionisant, rapport dont la valeur varie avec la nature de l'ionisant.

Il est important de remarquer qu'un ionisant ne peut produire l'ionisation que si son énergie est supérieure à une certaine limite, représentée par la plus petite valeur possible du travail d'ionisation [1].

Pour qu'un ion possède une énergie cinétique supérieure au travail d'ionisation minimum, il faut qu'il ait parcouru un certain espace sans avoir heurté d'autre ion ou d'autre particule. Il faut en d'autres termes que la chute de potentiel entre les deux extémités de sa trajectoire libre soit supérieure à une limite déterminée, qu'on appellera *tension d'ionisation*. Cette tension d'ionisation varie avec la nature du gaz ; elle est différente pour l'ion positif et l'ion négatif, différente dans l'intérieur du gaz et à la surface du métal.

On a admis que les particules neutres pouvaient être séparées en ions par l'action du champ électrique; mais dans la présente théorie ce fait ne peut se produire. Avant que le champ n'ait acquis une intensité suffisante pour séparer les ions d'une molécule neutre, l'ionisation se produit par le choc des ions qui existent toujours dans un gaz. Grâce à l'existence du champ ces ions accumulent pendant qu'ils décrivent leur trajectoire libre une énergie cinétique suffisante pour provoquer l'ionisation. A ce moment un courant électrique prend naissance : la chute de potentiel ne peut donc dépasser une certaine valeur, si ce n'est momentanément quand il y a très peu d'ions libres (retard à la décharge). Il résulte immédiatement de là que la chute de potentiel maxima qui peut être réalisée dans un gaz est d'autant plus grande que le trajet moyen des ions est plus petit.

Le coefficient d'activité de l'ion négatif est notablement plus grand que celui de l'ion positif. En effet, la tension d'ionisation dans l'air est environ 50 volts pour l'ion négatif et 530 environ pour le positif.

En calculant la température absolue des ions dans un champ électrique, d'après leur énergie cinétique, on arrive à des nombres énormes : $1,4.10^{5}$ pour l'ion positif dans l'azote à la surface du platine ; la chute de potentiel étant égale à la tension d'ionisation ; $1,8.10^{8}$ pour l'ion négatif dans un tube de Crookes. Ces chiffres énormes ne sont pas contradictoires avec la température relativement basse des gaz ionisés à cause du faible nombre des ions par rapport au nombre total des molécules.

Ionisation a l'intérieur d'un gaz traversé par un courant. — Un fait qui prouve d'une manière péremptoire que les ions peuvent par leur choc séparer une molécule neutre en ses ions, c'est l'action des rayons cathodiques et des autres rayons dus au déplacement des ions.

Lorsque l'ionisation se produit dans la masse même du gaz, il se trouve en présence aussi bien des ions positifs que des négatifs. Mais ce sont seulement ces derniers qui jouent le rôle d'ionisant : le gradient du potentiel est trop faible pour que les ions positifs acquièrent l'énergie cinétique suffisante.

L'ionisation par les ions négatifs se produit d'une manière uniforme dans toutes les tranches successive ou se limitent à certaines régions. Dans le premier cas, on a la lumière positive non stratifiée; dans le second, on observe les stratifications [1].

---

[1] L'énergie potentielle des ions dépend de la température, de la nature du couple d'ions, de la nature du milieu ambiant. Elle diminue quand la température absolue des particules neutres s'élève. Toutes choses égales d'ailleurs, elle varie avec la nature du gaz. Au voisinage de la surface d'un métal, elle est plus petite que dans l'intérieur de la masse gazeuse ; par suite, le minimum d'énergie que doit posséder un ion en mouvement pour provoquer l'ionisation est plus petit à la surface du métal que dans le gaz (par exemple, dans l'air : $7,5 \times 10^{-10}$ ergs environ, à la surface du platine : $4,9 \times 10^{-10}$).

[1] Lorsqu'il n'y a pas de stratifications, le gradient du potentiel est constant. Si $\lambda$ est le trajet moyen des ions, $\frac{dV}{dx}$ le gradient du potentiel, $\Delta V_m$ la tension d'ionisation, il faut que :

$$\lambda \frac{dV}{dx} > \Delta V_m$$

$\Delta V_m$ dépend d'ailleurs de la nature du gaz et pour un même gaz, de la température. Par suite de l'influence des parois, $\frac{dV}{dx}$ doit être d'autant plus grand que la section est plus faible. Lorsque la section est grande, $\lambda \frac{dV}{dx}$ est voisin de $\Delta V_m$ et devient indépendant de la densité de courant, car $\Delta V_m$ varie peu avec le degré d'ionisation. Tant que l'ionisation n'est pas très avancée, on peut écrire : $\lambda = \frac{k}{p}$, c'est-à-dire admettre que $\lambda$ est inversement proportionnel à la pression du gaz. On a donc sensiblement :

$$\frac{k}{p} \frac{dV}{dx} = \Delta V_m = \text{const.}$$

Ionisation a la surface limite d'un gaz traversé par le courant. — A la surface limite du gaz au contact d'une électrode métallique partent constamment les ions qui ont même signe que l'électrode : ces ions sont remplacés par ceux qui sont mis en liberté par les chocs des ions de signe contraire qui se meuvent vers l'électrode métallique. Ce sont alors seulement ces derniers qui peuvent agir comme ionisants, car eux seuls ont parcouru un trajet libre suffisant pour avoir acquis l'énergie cinétique nécessaire. Donc à la surface du métal ce sont les ions positifs qui jouent ce rôle [1].

Au voisinage d'une cathode, les phénomènes s'interprètent comme il suit : de la couche de lueur négative, qui se trouve en avant de la région cathodique obscure, partent des ions positifs qui parcourent librement cette dernière acquièrent ainsi une énergie cinétique considérable et agissent comme ionisant dans la première couche contiguë à la cathode. De celle-ci partent les ions négatifs, qui en traversant la région obscure, acquièrent de leur côté l'énergie suffisante pour ioniser le gaz dans la lueur négative. Même cette énergie des ions négatifs est surabondante, car elle est pour le même trajet, plus grande que celle des ions positifs : il en résulte la luminescence du gaz [1].

Au voisinage de l'anode, se produit une ionisation provoquée par les ions affluents et dans l'intérieur du gaz, il y a une autre région où les ions positifs sont l'ionisant. Dans les conditions expérimentales où le phénomène est observable (décharge par une pointe) dans un gaz à une pression relativement élevée, les deux régions sont très voisines et difficiles à distinguer.

La chute de potentiel entre les deux régions est à peu près égale à la tension d'ionisation des ions positifs, mais celle qui correspond à l'intérieur du gaz (d'après une extrapolation 530 volts environ dans l'air).

L'ionisation simple ne se produit qu'au voisinage de l'anode : parce que dans cette région seulement les ions négatifs peuvent acquérir sur un parcours restreint l'énergie nécessaire. Au voisinage d'un métal, il suffit que les ions aient passé librement une chute de potentiel de quelques volts; d'après Townsend, dans l'air au contact du laiton, 5 volts suffiraient.

Dans l'arc électrique, l'ionisation est produite à la fois par le choc des ions en mouvement, par la température élevée des particules neutres et par les rayons ultraviolets : en particulier, à l'électrode négative se produit une déperdition photoélectrique énergique. La force électromotrice minima nécessaire à l'entretien de l'arc quand les électrodes sont très rapprochées est égale à la tension d'ionisation des ions qui jouent le rôle d'ionisant dans les conditions existantes : température, nature du milieu, etc. elle est comprise entre 30 et 40 volts. M. L.

---

le gradient du potentiel est à peu près en raison inverse de la pression.

Lorsqu'il y a stratifications, la partie lumineuse tournée du côté de la cathode est le siège d'une ionisation intense ; dans la partie obscure, l'ionisation est faible. Les ions en mouvement perdent leur énergie cinétique dans la première région en provoquant, par leur choc, l'ionisation des particules neutres ; ils traversent ensuite la seconde, en trajet libre et gagnent ainsi l'énergie nécessaire pour provoquer l'ionisation dans la strate lumineuse suivante. A la première strate, l'énergie est fournie par la cathode. La luminescence du gaz s'explique par l'abandon d'énergie cinétique des ions dans cette région. La différence de potentiel entre la section initiale d'une strate et la section initiale de la suivante représente à peu près la tension d'ionisation, c'est-à-dire la chute de potentiel que doit éprouver un ion négatif pendant son trajet libre dans l'intérieur du gaz pour pouvoir ioniser une molécule. La distance des strates est ainsi égale approximativement au chemin moyen des ions négatifs. D'après les observations faites sur les strates, on se convainc que les ions positifs n'agissent pas comme ionisants dans ces conditions.

[1] Ces ions peuvent provenir d'une région éloignée où ils ont été libérés par une cause quelconque, l'ionisation sur la surface limite est simple ; ou bien ils proviennent eux-mêmes d'une ionisation par choc, d'une région située à quelque distance de l'électrode : l'ionisation est alors double. En effet, dans ce dernier cas, elle résulte de deux phénomènes : au voisinage de l'électrode, l'ionisation par le choc des ions qui affluent à l'électrode ; à quelque distance, dans l'intérieur, une autre ionisation provoquée par les ions de signe contraire émanés de l'électrode. Ces deux phénomènes sont solidaires : l'un fournit à l'autre l'énergie nécessaire. Il faut donc que la chute de potentiel entre les deux régions soit égale à la tension d'ionisation de l'espèce des ions pour laquelle cette tension est la plus grande, c'est-à-dire des ions positifs.

[1] La chute de potentiel à la cathode, c'est-à-dire la différence de potentiel entre la cathode et la lueur négative, est égale à la tension d'ionisation des ions positifs au contact du métal de la cathode. La distance du bord de la lueur négative à la cathode (épaisseur de la région obscure), représente approximativement le trajet moyen des ions positifs dans les conditions considérées. Les phénomènes observés s'interprètent facilement dans cette hypothèse.

---

*Le Gérant :* C NAUD.

Tome XXXI. Samedi 28 Juin 1902. 9e Année. — N° 26.

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## DÉCOMPOSITION D'UNE COURBE REPRÉSENTATIVE D'UN PHÉNOMÈNE ALTERNATIF EN SINUSOIDES

La courbe est donnée graphiquement et rapportée à l'axe moyen comme abscisse. La forme la plus générale de la série est :

$$y = f(\omega t) = \sum \left[ A'_m \sin m(\omega t - \varphi_m) + B'_m \cos m(\omega t - \varphi'_m) \right]$$

$A'_m$, $\varphi_m$, $B'_m$, $\varphi'_m$, étant des constantes à déterminer.

En développant on a :

$$y = f(\omega t) = \sum \left[ (A'_m \cos \varphi_m + B'_m \sin \varphi'_m) \sin m\omega t + (B'_m \cos \varphi'_m - A_m \sin \varphi_m) \cos m\omega t \right]$$

ou :

$$y = f(\omega t) = \sum \left( A_m \sin m\omega t + B_m \cos m\omega t \right).$$

Il est facile de voir que la courbe peut être représentée par une infinité de séries de sinus et de cosinus, car on est maître de prendre l'origine des coordonnées en un point

quelconque de l'axe des abscisses (fig. 1). En pratique, il y a avantage à faire coïncider l'origine des axes avec l'origine de la courbe donnée, de sorte que la sinusoïde principale est en phase avec la courbe donnée; dans ce cas, la série de sinus et cosinus est parfaitement déterminée (fig. 2).

Quand les demi-ondes sont symétriques, c'est-à-dire, qu'en rabattant de 180° autour de l'axe la demi-onde positive, et en la transportant alors de $\pi$ latéralement elle recouvre exactement la demi-onde négative, ce qui est le cas général de la pratique pour les courants alternatifs, si l'ordonnée est $y'$ pour $x = \omega t'$, elle doit être $-y'$ pour $x = \pi + \omega t'$. Il est

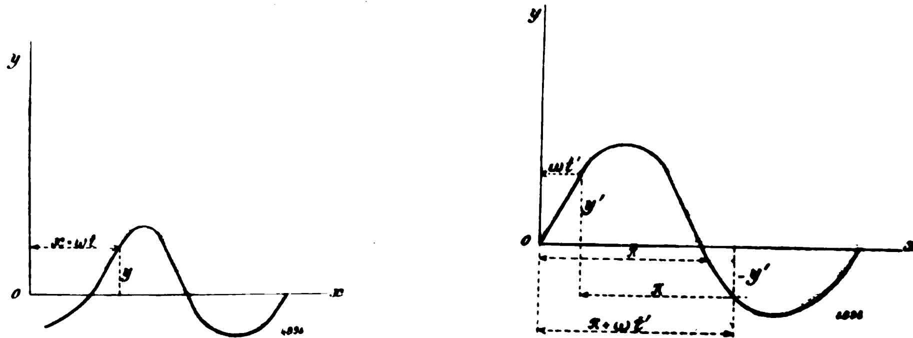



Fig. 1 et 2.

facile de voir que, dans ce cas, la série ne contient plus que des termes de rang impair, de sorte que l'équation générale est :

$$y = \sum \left[ A_{2n+1} \sin (2n+1) \omega t + B_{2n+1} \cos (2n+1) \omega t \right].$$

Le plus souvent, chaque demi-onde est symétrique par rapport à l'ordonnée du milieu; alors (fig. 3), si on a $y$ pour $x = \omega$, on devra encore avoir la même valeur de $y$ pour $x = \pi - \omega t$. Dans ce cas les termes en cosinus disparaissent, de sorte que l'équation générale devient :

$$y = \sum A_{2n+1} \sin (2n+1) \omega t.$$

Une méthode a été indiquée pour déterminer la valeur de $A_{2n+1}$. C'est la suivante :

On partage l'axe de la demi-onde en $2n+1$ parties égales et on mène les ordonnées aux points de partage. On a ainsi $2n+1$ bandes, limitées latéralement par les ordonnées, à la partie inférieure par l'axe des $x$, et à la partie supérieure par une portion de la courbe. On mesure les surfaces de ces bandes (il suffit de mesurer $n+1$ surfaces, la figure étant symétrique par rapport à l'ordonnée médiane), on fait la somme $S_1$ des surfaces de rang impair et la somme $S_2$ des surfaces de rang pair, on a alors :

$$A_{2n+1} = (2n+1) \frac{\pi}{2a} (S_1 - S_2).$$

$a$ étant la longueur de la demi-onde (ou de $\pi$) sur le dessin [1].

---

[1] Cette méthode ne s'applique pas au cas de $n = 0$, c'est-à-dire quand $2n+1 = 1$, ni aux cas où $2n+1$ n'est pas un nombre premier. On peut déterminer ainsi, $A_3$, $A_5$, $A_7$, $A_{11}$, $A_{13}$, $A_{17}$, etc., mais non $A_1$, $A_2$, $A_9$, etc.

Si l'on se contente des sinusoïdes jusqu'à la onzième, (en admettant que les coefficients de celles d'un rang plus élevé sont nuls), on peut procéder de la manière suivante :

On divise un quart d'onde (fig. 4) en six parties égales et on mène les ordonnées $a_1$, $a_2$, $a_3$....., $a_6$. On a alors :

$$\begin{aligned}
A_1 &= 0{,}087\, a_1 + 0{,}167\, a_2 + 0{,}238\, a_3 + 0{,}289\, a_4 + 0{,}325\, a_5 + 0{,}167\, a_6,\\
A_3 &= 0{,}234\, a_1 + 0{,}333\, a_2 + 0{,}231\, a_3 \qquad\qquad - 0{,}242\, a_5 - 0{,}167\, a_6,\\
A_5 &= 0{,}321\, a_1 + 0{,}167\, a_2 - 0{,}238\, a_3 - 0{,}289\, a_4 + 0{,}083\, a_5 + 0{,}167\, a_6,\\
A_7 &= 0{,}321\, a_1 - 0{,}167\, a_2 - 0{,}238\, a_3 + 0{,}289\, a_4 + 0{,}083\, a_5 - 0{,}167\, a_6,\\
A_9 &= 0{,}234\, a_1 - 0{,}333\, a_2 + 0{,}231\, a_3 \qquad\qquad - 0{,}242\, a_5 + 0{,}167\, a_6,\\
A_{11} &= 0{,}087\, a_1 - 0{,}167\, a_2 + 0{,}238\, a_3 - 0{,}289\, a_4 + 0{,}325\, a_5 - 0{,}167\, a_6.
\end{aligned}$$

Ces relations suffisent pour presque tous les cas de la pratique des courants alternatifs, on ne va généralement pas au-dessus de $A_7$ et souvent on s'arrête à $A_5$.

M. P. Weber a montré que quand on a affaire à une somme de sinus et de cosinus

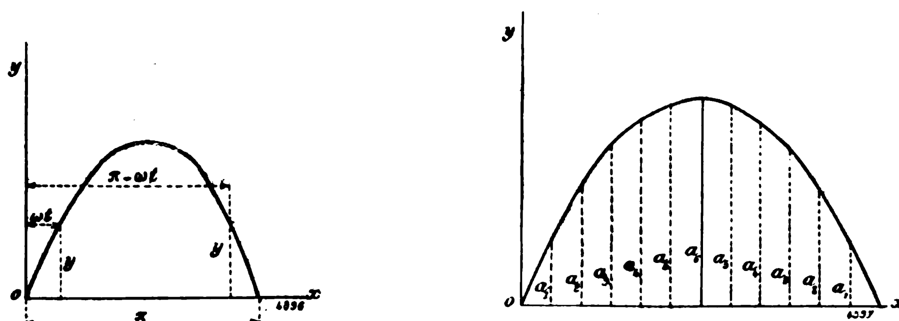



Fig. 3 et 4.

(c'est-à-dire dans le cas où les demi-ondes sont symétriques, mais non les quarts d'onde), on peut facilement tracer les courbes de la somme des sinus et de la somme des cosinus.

Pour $x = \omega t_1$, on a :

$$y_1 = \sum \left( A_{2n+1} \sin (2n+1)\, \omega t_1 + B_{2n+1} \cos (2n+1)\, \omega t_1 \right)$$

Pour $x = \pi - \omega t_1$, on a :

$$y_1' = \sum \left( A_{2n+1} \sin (2n+1)\, \omega t_1 + B_{2n+1} \cos (2n+1)\, \omega t_1 \right).$$

On a donc :

$$\frac{y_1 + y_1'}{2} = \sum A_{2n+1} \sin (2n+1)\, \omega t_1, \qquad \frac{y_1 - y_1'}{2} = \sum B_{2n+1} \cos (2n+1)\, \omega t_1.$$

On voit donc que l'on peut tracer la courbe de la somme des sinus, en prenant comme ordonnée pour $x = \omega t$, la demi-somme des ordonnées correspondant à $x = \omega t$ et $x = \pi - \omega t$ (c'est-à-dire à égale distance de l'ordonnée du milieu) sur la courbe donnée [1].

L'ordonnée du point $x = \omega t$ de la courbe de la somme des cosinus est égale à la moitié de la différence entre l'ordonnée correspondant à $\omega t$ et l'ordonnée correspondant à $\pi - \omega t$ sur la courbe donnée.

[1] On voit que la méthode indiquée pour déterminer la valeur de $A_{2n+1}$, en partageant les demi-ondes en bandes, dont on détermine la surface, s'applique également au cas où les demi-ondes ne sont pas symétriques par rapport à l'ordonnée médiane. On doit alors mesurer les $2n + 1$ surfaces.

Les courbes étant tracées on pourra déterminer par les méthodes indiquées les valeurs des constantes. On pourra en déplaçant de $\frac{\pi}{2}$ l'origine des coordonnées remplacer les cosinus par des sinus. (Il y a lieu de remarquer que, comme le montre la figure 5, la courbe OBC, représentant la somme des cosinus, semble avoir une fréquence double, ceci provient de ce que pour $\omega t = 0$, on a $\Sigma B_{2n+1} \cos(2n+1)\omega t = 0$.) On peut du reste sans être obligé de tracer les courbes déterminer les valeurs des coefficients jusqu'à $A_{11}$ et $B_{11}$, en procédant de la manière suivante :

On divise la demi-onde en douze parties égales et on mène les ordonnées $a_1, a_2 \ldots\ldots a_{11}$ aux points de partage.

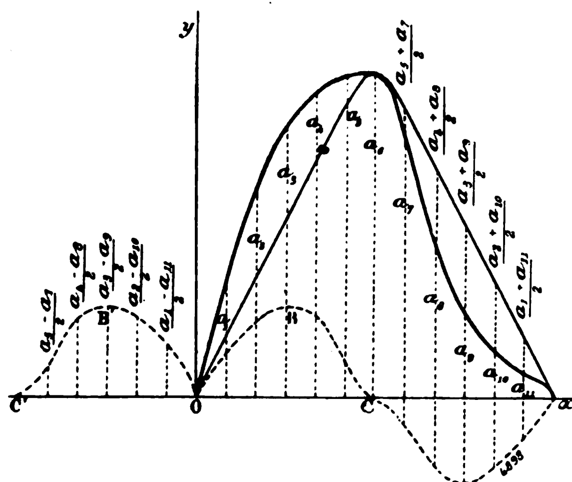



Fig. 5.

Pour avoir les valeurs de $A_1, A_3 \ldots, A_{11}$, il suffit de remplacer dans les relations données ci-dessus :

$$a_1 \text{ par } \frac{a_1+a_{11}}{2}; \quad a_2 \text{ par } \frac{a_2+a_{10}}{2}; \quad a_3 \text{ par } \frac{a_3+a_9}{2};$$

$$a_4 \text{ par } \frac{a_4+a_8}{2}; \quad a_5 \text{ par } \frac{a_5+a_7}{2}.$$

En déplaçant l'origine des coordonnées de $\frac{\pi}{2}$ vers la gauche, les termes en cosinus deviennent des termes en sinus. Sur la figure 5, OBC représente un quart d'onde de la somme des cosinus, si on trace OB'C' symétrique par rapport à O, C'B'OBC représente la demi-onde de la somme des termes, les cosinus étant remplacés par des sinus. En remplaçant :

$$a_1 \text{ par } \frac{a_5-a_7}{2}; \quad a_2 \text{ par } \frac{a_4-a_8}{2}; \quad a_3 \text{ par } \frac{a_3-a_9}{2}; \quad a_4 \text{ par } \frac{a_2-a_{10}}{2}; \quad a_5 \text{ par } \frac{a_1-a_{11}}{2}$$

et en prenant $a_6 = 0$, les équations ci-dessus donnent $B_1$ au lieu de $A_1$ ; — $B_3$ au lieu de $A_3$ ; $B_5$ au lieu de $A_5$ ; — $B_7$ au lieu de $A_7$ ; $B_9$ au lieu de $A_9$ et — $B_{11}$ au lieu de $A_{11}$.

Comme vérification on devra avoir :

$$A_1 - A_3 + A_5 - A_7 + A_9 - A_{11} = a_6$$
$$B_1 - B_3 + B_5 - B_7 + B_6 - B_{11} = 0.$$

Si l'on se contente d'un nombre moindre de sinusoïdes, les coefficients des termes d'un rang supérieur à celui où l'on s'arrête doivent être alors considérés comme nuls.

En faisant alors la vérification indiquée ci-dessus, on pourra déterminer le degré de l'approximation obtenue.

Quand on a mis la relation sous la forme d'une somme de sinus et de cosinus, on peut la ramener à une somme de sinus.

En posant :

$$A_m \sin m\omega t + B_m \cos m\omega t = C_m \sin(m\omega t + \varphi_m)$$

on a :

$$C_m = \sqrt{A_m^2 + B_m^2} \qquad \operatorname{tg} \varphi_m = \frac{B_m}{A_m}$$

En prenant pour $C_m$ le signe de $C_m$, $\varphi_m \left(\text{inférieur à } \frac{\pi}{2}\right)$ est positif quand $A_m$ et $B_m$ sont de même signe et négatif dans le cas contraire.

F. Loppé.

# L'EXPOSITION DE DÜSSELDORF (1)

Nous avons donné précédemment une vue d'ensemble sur la production, la fourniture et la distribution de l'énergie électrique et son utilisation pour l'éclairage général et pour le transport de la force motrice. Nous décrirons ultérieurement, dans un article spécial, l'application qui en a été faite par les exposants particuliers. Nous remarquerons seulement que la transmission de force motrice a lieu, dans le Palais des machines ainsi que dans les divers batiments de l'exposition, exclusivement par le moyen du courant électrique, c'est-à-dire, il n'y a aucune commande générale par arbre de transmission.

Nous mentionnons encore les expositions principales et les objets qui présentent un certain intérêt :

Dans le Palais des machines sont réunies, outre la station centrale décrite ci-dessus, les plus nouvelles et les plus remarquables machines, sortant des ateliers de construction de la province Rhénane et de la Westphalie. On y remarque surtout une installation pour l'épuisement des eaux dans les mines. Elle se compose d'un groupe électrogène au niveau du sol et d'une pompe souterraine actionnée par un moteur électrique. Ce groupe a une puissance de 1 000 chevaux indiqués ou 600 kilowatts effectifs. La machine à vapeur, du système compound horizontal, fournie par l'usine Haniel et Lueg, de Düsseldorf, est accouplée directement avec le générateur à courants alternatifs triphasés de la Société W. Lahmeyer et C^ie^, de Francfort-sur-le-Mein, produisant les courants triphasés sous 2 000 volts et 25 périodes par seconde. La pompe, du type horizontal, construite aussi par Haniel et Lueg, et accouplée à l'arbre du moteur à courants triphasés à 2 000 volts de W. Lahmeyer et C^ie^, peut élever à 450 mètres 5,5 m$^3$ d'eau par minute.

Tous ces appareils sont en fonctionnement.

De plus une pompe centrifuge, pouvant élever à 12 m 12,5 m$^3$ d'eau par minute, est attaquée directement par un moteur électrique de W. Lahmeyer et C^ie^. Nous devons signaler ensuite la superbe exposition des fabriques de machines-outils. On y trouve les modèles les plus puissants. Presque toutes les machines sont actionnées individuellement par moteurs électriques. Entre autres les ateliers de construction de machines-outils « Ernst Schiess » de Düsseldorf, bien connus dans le monde industriel, exposent quelques imposants spécimens, savoir : un tour en l'air à plateau horizontal et montants mobiles pour tourner des pièces de 9 500 mm de diamètre et 2 201 mm de hauteur. L'écartement des montants est de 6 800 mm. Si on les déplace de l'avant, de telle sorte que les outils puissent arriver sur le milieu du plateau, on peut tourner un diamètre de 7 000 mm. La commande a lieu par un électro-moteur de 25 chevaux environ débrayable et tournant à plusieurs vitesses; il est alimenté par du courant continu à 440 volts. Le moteur actionne la couronne dentée du plateau par harnais d'engrenages. L'appareil a un poids net de 150 000 kg.

Une machine triple à aléser et fraiser, horizontale et verticale, pour des pièces de 14 500 mm de longueur, 4 000 mm de largeur et 2 500 mm de hauteur. Elle se compose de 2 bancs dont l'un de 19 100 mm de longueur et l'autre, de 12 600 mm. La commande a lieu au moyen d'un moteur à pétrole « Brevet Diesel » d'une force normale de 35 chevaux qui est placé à une extrémité du banc. Chaque poupée est attaquée par un moteur électrique de 9 chevaux. Poids net de la machine environ 165 000 kg.

(1) Voir l'*Éclairage Électrique*, p. 384, 14 juin 1902.

Une machine à raboter de 10 000 mm de longueur, 4 000 mm de largeur, et 4 000 mm de hauteur. La table d'une largeur de 3 300 mm est déplacée au moyen de deux vis et d'un harnais d'engrenages directs placés sur le côté arrière du banc et actionnés par un moteur électrique d'une force de 50 chevaux. Poids de la machine environ 155 000 kg.

Beaucoup d'usines, bien connues, ont exposé dans le palais des machines, leurs produits intéressants et importants. Nous ne mentionnons ici que les noms : Kalkes Werkzeugmaschinenfabrik Brener, Schumacher et C^ie de Kalk-Cologne, Haberzang et Zinsen de Düsseldorf, Dortminder Werkzeugmaschinenfabrik Wagner et C^ie; etc. Nous nous réservons de donner plus tard une description détaillée des équipements électriques des diverses machines et des commandes spéciales pour les divers services.

Au point de vue de l'utilisation du gaz de hauts fourneaux pour la force motrice, on trouve à l'exposition plusieurs constructions nouvelles et des plus remarquables. Nous citerons surtout une machine système « Otto » fonctionnant au gaz de fourneaux et sortie des ateliers de la Deutzer Gazmotorenfabrik, de Cologne-Deutz; elle est placée dans le propre pavillon de l'usine. Le moteur a une puissance de 1,000 chevaux et attaque directement une machine soufflante pour hauts fourneaux; un moteur à gaz système Oechelhauser de la Société de Cologne-Bayenthal d'une force de 785 chevaux indiqués à 100 t: m, actionnant directement une soufflerie pour hauts-fourneaux; un laminoir commandé directement par un moteur à gaz construit par l'usine Klein frères, de Dahlbruch et un moteur jumelé à gaz de fourneau, d'une puissance de 350 chevaux effectifs de la maison Louis Soest et C^ie de Düsseldorf pour la commande d'un dynamo à courants triphasés.

Outre les onze ponts roulants électriques placés dans le palais des machines (voir XXXI p. II et IV) dont 3 ont une force de 30 000 kg, il faut mentionner un pont tournant électrique pouvant soulever 6 000 kg et exposé par la « Duisburger Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft, de Duisburg-sur-le Rhin, et un pont tournant hydraulique d'une force de 5,000 kg, dont l'action s'étend sur un rayon de 7,5 m; il est construit par l'usine « Neüsser Eisenwerk, de Herdt-Neüss.

Les expositions spéciales appartenant au groupe V [Électricité] ne se trouvent pas seulement dans le palais des machines, mais encore dans le grand Palais de l'Industrie et dans les propres pavillons des exposants. Tous les points de l'exposition, où se trouvent des appareils et machines électriques de quelque importance sont marqués par un encadrement noir (voir fig. 1). Dans le palais des machines, au côté ouest, la Société d'Électricité « Helios », de Cologne, présente ses nouveaux produits, savoir : générateurs et moteurs à courants triphasés et continu, transformateurs, machines fermées, appareils électriques, régulateurs, lampes à arc, compteurs, ventilateurs avec commande électrique, etc. Tout près se trouve l'exposition des ateliers Voigt et Haeffner, de Francfort-sur-le-Mein. Comme nous l'avons déjà dit, cette dernière société a fourni le tableau général de distribution de la station cencentrale. Le panneau du milieu est destiné aux appareils de distribution, de sécurité et de contrôle de la marche, tandis que les deux panneaux latéraux sont affectés au service des ateliers Voigt et Haeffner qui, outre d'heureuses innovations apportées dans l'établissement et la construction des tableaux de distribution, exposent dans le même stand beaucoup d'appareils électriques et d'articles pour installations électriques.

De l'autre côté de l'entrée principale, dans le Palais des Machines, l'usine d'électricité Garbe, Lahmeyer et C^ie, d'Aix-la-Chapelle, présente plusieurs spécimens de ses produits, savoir : générateurs à courant continu et à courants triphasés de 20 à 100 kilowatts, moteurs normaux à courants continu et triphasés de 1/8 à 30 chevaux, plusieurs machines complètement ou partiellement fermées, un convertisseur rotatif, transformant le courant

alternatif en courant continu; et un convertisseur rotatif d'une force de 131 chevaux qui transforme le courant continu d'une tension de 440 volts en même courant à 220 volts; etc.

Au grand palais de l'industrie, le groupe V a trouvé son emplacement près de l'entrée principale (voir fig. 1). Nous trouvons ici tous les produits de l'industrie électrique. Nous ne mentionnons que les exposants suivants :

L'usine Bismarkwerk, de Berzerhof, est représentée par ses constructions spéciales, savoir : moteurs électriques à courant continu, et à courants alternatifs, simples et triphasés de 1/64 à 50 chevaux.

Ses moteurs fermés suspendus, destinés à la commande électrique des machines de l'industrie textile, sont particulièrement intéressants. Les mêmes moteurs sont installés dans le pavillon n° 37 (fig. 1), où ils actionnent quelques machines de l'Association des filateurs des provinces du Rhin et de Westphalie.

Les ateliers de construction des machines Max Schorch et C^ie, de Rheydt ont exposé leurs nouveaux produits, savoir : générateurs et moteurs à courant continu et triphasé, divers appareils électriques, régulateurs, tableaux de distribution, commandes spéciales des machines-outils, etc.

Les usines : l'Accumulatorenfabrik Aktien-Gesellschaft Hagen, l'Accumulatorenwerke système Pollak, de Francfort-sur-le-Mein, Behrend, l'Accumulatorenwerke, de Francfort-sur-le-Mein, Bleiwerk Neumühl, l'Accumulatorenwerke E. Schulz, Witten, etc., montrent leurs plus grands éléments et surtout leurs accumulateurs transportables destinés à l'éclairage des wagons de chemin de fer, etc.

Les ateliers Konstructionswerke electrisites Apparat, système Bertram, de Francfort-sur-le-Mein, sont représentés par leurs plus récentes constructions.

On y remarque entre autres un kiosque en fer, contenant une sous-station plus moderne de distribution pour l'utilisation du courant des alternateurs. Cette station est pourvue de trois transformateurs à courant alternatif simple et de tous les accessoires. Les deux tableaux de distribution, dont l'un est spécialement affecté au courant de haute tension et l'autre au courant de basse tension, sont munis de tous les appareils de sécurité et d'interruption.

Dans son propre pavillon, situé tout près du Palais des Machines, la Société d'électricité W. Lahmeyer et C^ie donne aux visiteurs l'occasion pour juger de son développement et de ses nouveaux produits. Comme nous l'avons déjà dit, la Société participe, pour une très large part, à la fourniture de l'énergie électrique nécessaire aux services de l'Exposition. Dans son bâtiment, elle a exposé un grand nombre de dessins et photographies indiquant les multiples stations centrales d'électricité qu'elle a installées, et, de plus, une série de machines à courant continu, de moteurs à courants alternatifs, simple et triphasés, de moteurs fermés, de transformateurs, d'appareils électriques, de régulateurs, d'équipements électriques complets pour ponts roulants et ascenseurs, etc.

Dans le bâtiment des pompes, situé derrière le Hall des Fêtes, se trouvent les pompes centrifuges, destinées à fournir l'eau aux chaudières et aux fontaines lumineuses énumérées plus haut. Ces pompes sont actionnées par moteurs électriques à courant continu, d'une puissance respective de 120, 80, 55 et 55 chevaux, alimentés par l'usine d'électricité T.-H. Geist, de Cologne. Outre cela, la même fabrique a exposé, dans ce pavillon, plusieurs séries de ses nouveaux transformateurs, moteurs à courants continu et alternatif, etc.

Le pavillon n° 146, de la Düsseldorfer-Maschinenbau Aktien Gesellschaft, vorm J. Losehausen, de Düsseldorf Grafenberg, contient, entre autres, les produits de sa nouvelle

section d'électricité, savoir : une série de moteurs fermés à courant continu et une série à courants triphasés, de 0,5 à 50 chevaux de force et 200 t. : m.; diverses commandes particulières de machines-outils, etc., etc.

La maison Schafer et Langen, de Crefeld, a exposé un arrangement des plus modernes de machines pour brasseries, dans son propre pavillon; cette exposition est bien intéressante, parce que toutes les machines sont actionnées par moteurs électriques, fournis par la Société Helios, de Cologne, et d'une puissance variant de 2 à 85 chevaux; ce dernier tourne à raison de 270 t. : m.

Nous signalerons encore le superbe pavillon Krupp qui couvre une superficie de 4 280 m$^2$. Ce bâtiment gigantesque, avec ses tours cuirassées, commence la *via triumphalis* de l'industrie des provinces rhénanes et de Westphalie à l'Exposition. Le corps principal, tout en fer, a une longueur de 110 m sur 26 m de largeur. En avant, s'élèvent deux tours réunies par un avant-corps, qui, sur une longueur de 50 m, porte la largeur totale à 35 m. Aux deux extrémités, orientées vers le nord et le sud, deux annexes se joignent au corps de bâtiment, portant sa longueur totale à 134 m. Dans l'annexe sud, et traversant le toit, un mât de combat complètement équipé se dresse à 54 m de hauteur. La partie centrale du pavillon renferme l'exposition de l'usine d'Essen, l'extrémité nord celle des chantiers Germania, à Kiel, et l'extrémité sud les produits du Grusonwerk, de Magdeburg.

Le nombre et le choix des objets exposés permet aux visiteurs de se former une idée de la capacité productrice de ces établissements.

Entre autres, les aciéries d'Essen ont exposé les objets suivants :

Un canon de côte de 30,5 cm sur affût à tourelle, un canon de côte de 21 cm sur affût à éclipse, un canon de côte de 15 cm sur affût à pivot central et un obusier de côte de 28 cm. De plus, des canons de bord à tir rapide de 28 et 19 cm sur affût à pivot central. En fait de matériel de campagne, on remarque plusieurs canons de construction toute récente, ainsi que divers obusiers, des canons de montagne et des pièces de petit calibre. Tout ce matériel d'artillerie est complètement équipé, prêt à l'emploi et muni de tous les accessoires nécessaires. Différents types de fermetures systématiquement groupés, des séries de projectiles et autres éléments de munitions complètent cette partie.

Le développement et la capacité productrice actuelle des laminoirs à plaques de blindage de l'usine d'Essen sont démontrés par une série de plaques. Il y a en tout environ 25 blindages lourds, parmi lesquels la plaque la plus grande et la plus lourde qu'on ait jamais fabriquée ; son poids est de 106 tonnes, elle a 13,15 m de longueur, 3,4 m de largeur et 300 mm d'épaisseur.

Il y a un certain nombre de pièces de forge très remarquables, par exemple un arbre creux de 45 m de longueur et pesant environ 50 tonnes; on l'a tiré et forgé d'un seul bloc d'acier au creuset. Le diamètre extérieur de cet arbre est de 460 mm et le diamètre intérieur, de 120 mm. En outre un arbre complet destiné au transatlantique « Kaiser Wilhelm II » du Norddeutscher Lloyd mérite une mention particulière; cet arbre, assemblé et muni de son hélice, mesure 71 m et pèse 226 200 kg.

Un nombre très considérable de pièces moulées en acier, un grand nombre d'objets en tôle d'acier, de formes spéciales, emboutis, étirés ou forgés sur matrices, des accessoires divers pour chemins de fer représentent la fabrication étendue de l'usine d'Essen.

La disposition et l'emploi des canons de côtes sont démontrés par un grand nombre de batteries de côte, exposées par le Grusonwerk, de Magdebourg-Buckau. Une partie d'une coupole cuirassée Gruson, en fonte durcie, exposée en nature, est montée de sorte à former une arche de passage reliant la partie centrale du hall où sont exposés les produits de

l'usine d'Essen, à la partie sud, où se trouve l'exposition du Grusonwerk. Outre cela le Grusonwerk expose surtout un grand nombre d'objets caractéristiques en fonte durcie, fonte malléable et fonte d'acier, des appareils et des installations mécaniques complètes pour les besoins de l'industrie, comme par exemple : des séparateurs de minerais magnétiques, une presse hydraulique pour la fabrication de câbles en plomb, un laminoir pour plaques de plomb, des machines pour la fabrication de poudre sans fumée, une calandre à linoléum, une installation pour le traitement des minerais, etc.

Les chantiers de Kiel (Germaniawerk) sont réprésentés par une série de modèles de vaisseaux qui y ont été construits et par de nombreuses machines à vapeur servant à divers emplois à bord, en outre par une installation de chaudières, brevet Schulz, qui fournit la vapeur nécessaire pour actionner une dynamo qui à son tour alimente les moteurs électriques des affûts à tourelle.

Quant aux institutions étendues de bienfaisance, les visiteurs sont renseignés en détail par de nombreux dessins, modèles, tableaux, vues stéréostopiques, peintures murales, etc. exposés au premier étage de la tour nord.

Tout à côté du pavillon Krupp se trouve le bâtiment de la société « Hörder Verein », de Hörde. Ce pavillon, une construction élégante et artistique, occupe plus de 1 000 m². Entre autres choses, ses importantes usines exposent les objets suivants :

Une partie d'arbre de machine à vapeur destiné aux transatlantiques « Augusta Victoria » et « Hohenzollern », poids 14 022 kg; divers arbres de machines à vapeur; un grand nombre de pièces moulées en acier, un certain nombre de pièces de forge; vu l'importance de sa fabrication en fait de matériel pour chemins de fer, l'usine expose un assortiment très nombreux d'articles de ce genre, tels que wagons, essieux montés, roues, bandages, pièces pour la construction de locomotives et des wagons, etc.

On trouve ensuite les constructions de la « Deutschen Betonverein » (Société des Bétons Allemands) qui s'élèvent à une hauteur de 9 m au-dessus du niveau moyen du Rhin et qui couvrent une surface de 3 500 m². La Société y montre la perfection des constructions en béton. Un pont composé d'une seule arche de 30 m servant de prolongement à la rue principale de l'Exposition domine un spacieux et vaste bassin.

Dans les galeries on a exposé des dessins et des modèles de machines employées à la fabrication et à l'épreuve du béton. On y voit pour la première fois les ateliers scientifiques d'essais et de préparation mécanique du béton, du mortier et des pierres artificielles. Une pompe centrifuge, actionnée directement par un moteur fermé à courant continu d'une puissance de 50 chevaux à 200 t : m est installée au centre des bâtiments et fournit l'eau pour les cascades et bassins embellissant cet ensemble intéressant. Le moteur est fourni par la section Électricité de la Düsseldorfer Maschinenbau A. G. vorm J. Losenhausen. Plus loin, nous arrivons à l'établissement du Bochumes Verein (aciéries de Bochum), qui couvre une surface de 2 500 m². Ce bâtiment est surmonté d'une tour très élevée, ornée d'un jeu de cloches en acier fondu. La commande du jeu des cloches est électrique. D'autre part, des rails, des pièces pour la marine, des trains de roues, du matériel de chemin de fer complètent cette exposition.

La construction voisine est celle de Rheines Metallwerk und Maschinenfabrik (Maison Ehrhardt). Le pavillon est érigé sur un terrain d'une contenance de 1 800 m². Il est orné d'un grand nombre de tourelles, d'arcs-boutants, de clochetons, etc. Il possède un escalier qui est l'objet de l'admiration des visiteurs. Cette usine, bien connue dans le monde industriel, a exposé entre autres les objets suivants : Un matériel de campagne, plusieurs canons de montagne et des pièces de petit calibre, quelques canons de 10,5 et de 15 cm ;

***

beaucoup de matériel d'artillerie, complètement équipé et muni de tous les accessoires nécessaires, ainsi que des armes de tous genres ; chaudières, pièces moulées en acier et matériel pour chemins de fer.

Un peu plus loin, de l'autre côté de la grande avenue centrale, se trouve le pavillon des Forges de Bonne-Espérance, Gutehoffnungshütte, auquel est réuni le pavillon de la fabrique de moteurs à gaz de Deutz-Cologne, (fig. 8.) Ce bâtiment métallique, par ses dimensions considérables, aussi bien que par son aspect architectural, doit être classé parmi les constructions les plus remarquables de l'Exposition. Le pavillon occupe un espace de plus de 3 000 $m^2$. Les forges de Bonne-Espérance exposent, non seulement les produits habituels de leurs mines, de leurs forges et de leurs laminoirs, mais encore un certain nombre de grandes machines, qui donnent une idée de la puissance productrice de ses ateliers. Nous ne mentionnons que les objets suivants : une machine d'extraction jumelée capable d'élever d'une profondeur de 750 m un poids utile de 4400 kg, à la vitesse de 12 m par seconde ; une machine soufflante pour hauts fourneaux, actionnée en accouplement direct par un moteur de 1 000 chevaux alimenté au gaz de hauts fourneaux. Le moteur est construit par la fabrique de moteurs à gaz de Deutz-Cologne. De plus une pompe express Riedler, pouvant élever à 600 m 2,5 $m^3$ d'eau par minute, est accouplée directement à un moteur à courants triphasés d'une force de 450 chevaux sous 2 000 volts et 200 t : m de la Société d'électricité Helios, de Cologne.

Outre le grand moteur à gaz d'une puissance de 1 000 chevaux, nommé plus haut, la Deutzer Gasmotorenfabrik a exposé dans son pavillon 32 moteurs à gaz de diverses puissances. Entre autres, on y trouve les deux groupes électrogènes marqués au tableau des groupes de la station centrale d'électricité (voir page 389) savoir : l'un d'une puissance de 250 chevaux et 170 t : m, l'autre de 50 chevaux et 180 t : m. Les dynamos à courant continu, fournies par Garbe Lahmeyer et $C^{ie}$ et M. Schorch et $C^{ie}$, sont accouplées directement. Dans un espace séparé, la maison a installé des générateurs qui fournissent le gaz pour l'alimentation des moteurs et surtout aussi pour celui de 1 000 chevaux en activité dans le pavillon de la Gutehoffenungshütte.

Tout près est bâti le grand pavillon de l'Union des Intérêts Miniers (fig. 7) ; ce pavillon, considérable par ses dimensions et par son aspect architectural, comprend une superficie de 6 000 $m^2$. Le bâtiment principal contient des modèles et des dessins, des plans et coupes des gisements et tous les éléments nécessaires pour se faire une idée de l'avancement et de l'épuisement d'une mine. Dans l'autre partie de l'établissement, on a monté un grand nombre de machines et d'appareils utilisés dans l'exploitation des mines, et notamment une batterie de six chaudières à vapeur d'une surface de chauffe totale de 1 000 $m^2$ et d'une pression de vapeur de 12 kg : $cm^2$ avec une cheminée de 50 m de hauteur et de 2 m de diamètre intérieur au sommet. Nous laissions pressentir que l'Exposition de l'Union des Intérêts Miniers serait peut-être le clou de l'Exposition. Aujourd'hui nous sommes persuadés que ses bâtiments abritent le matériel le plus intéressant relatif à ce genre d'industrie. Nous lui consacrerons bientôt un article spécial.

Au sud, le grand Palais de l'Industrie couvre une surface de 30 000 $m^2$, sa largeur est de 75 m et sa longueur dépasse 425 m. Le bâtiment central est couronné d'une coupole octogonale s'élevant à 60 m. de hauteur. Ce palais est destiné à servir de salle de réception en cas de fêtes. La façade devant la coupole est surtout remarquable par son portail riche et majestueux (voir fig. 2). On y a réuni en 23 groupes les objets qui n'ont pas trouvé place dans les pavillons spéciaux. Nous nous réservons de donner plus tard une description détaillée des objets qui nous sembleront instructifs pour nos lecteurs.

Ce coup d'œil général sur l'Exposition met en relief son importance au point de vue électrique.

Ajoutons que la direction de l'exploitation dans le groupe V, Électricité, a été confiée à M. l'ingénieur Goll ; celle du groupe IV, Mécanique, à M. l'ingénieur Eztner. La direction a pris pour principe de n'exposer que les produits de bonne marque ou présentant quelque particularité, et d'exclure tout ce qui est médiocre. Aujourd'hui nous pouvons dire que l'administration est restée fidèle à sa promesse.

J. Seyferth.

# REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

## TÉLÉGRAPHIE

***Les bases scientifiques de la télégraphie sans fil***, par **A. Slaby**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 274, 27 mars 1902 (1).

II. Oscillations dans des circuits fermés. — Dès 1853, Thomson étudia théoriquement la

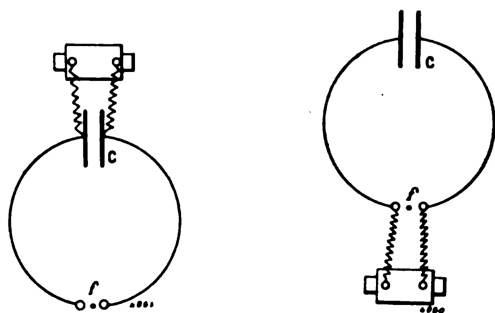



Fig. 1 et 2.

décharge d'un condensateur dans un circuit fermé par une étincelle et une self-induction. Un condensateur de capacité C est chargé par une source à haute tension suivant les dispositions de la figure 1 ou de la figure 2 et se décharge par une étincelle $f$ dans un fil de résistance R et de self-induction L.

Si R est négligeable devant $\sqrt{\frac{L}{C}}$, et *si l'on néglige la capacité du fil conducteur*, le calcul montre que le courant de décharge est un courant oscillatoire amorti dont la période est

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \text{ (formule de Thomson.)}$$

correspondant à une longueur d'onde

$$\lambda = vT = 2\pi\sqrt{(Cv^2)L} = 2\pi\sqrt{C_{\acute{e}m}\, L_{\acute{e}m}}.$$

M. Slaby a cherché à contrôler expérimentalement l'exactitude de la formule de Thomson et à déterminer dans quelles limites on pouvait l'appliquer aux cas de la pratique.

Une série de bouteilles de Leyde dont les capacités étaient mesurées par la méthode d'opposition, soit avec le téléphone, soit avec le gal-

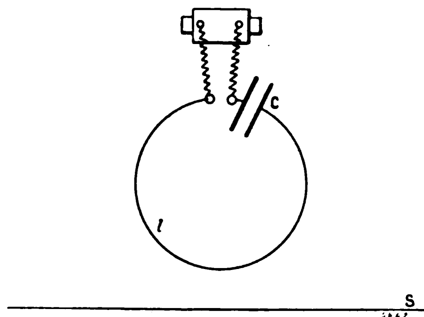



Fig. 3.

vanomètre balistique, étaient montées en circuits vibratoires avec des fils de longueurs différentes. Les demi-longueurs d'onde étaient obtenues par la recherche de la *longueur de résonance* (1) d'un fil S tendu rectilignement (fig. 3).

Les longueurs d'onde ainsi mesurées furent toujours beaucoup plus petites que celles calculées d'après la formule de Thomson. M. Slaby pensa tout d'abord que la différence pouvait

(1) Voir la première partie dans *L'Éclairage Électrique* du 21 juin, p. 437.

(1) *L'Écl. Élect.*, p. 439 et suiv., 21 juin 1902.

provenir de ce qu'on avait négligé la capacité du fil dans l'établissement de la formule. Cette supposition était basée sur le fait que les 2 cas limites : *capacité des bouteilles nulle*, et *capacité du fil nulle*, conduisent aux 2 valeurs

$$\frac{\lambda}{2} = 2\sqrt{CL}\ (^1).$$

et

$$\frac{\lambda}{2} = \pi\sqrt{CL},$$

qui diffèrent l'une de l'autre de 36 p. 100.

L'auteur songea alors à appliquer, au lieu de la formule de Thomson, une formule due à Kirchhoff qui, en 1864, avait également traité le problème de la décharge, mais en tenant compte de la capacité du fil. Kirchhoff était arrivé à l'expression :

$$\frac{\pi l}{\lambda}\operatorname{tg}\left(\frac{\pi l}{\lambda}\right) = \frac{l^2}{4 C_b L}, \qquad (1)$$

dans laquelle $l$ désigne la longueur, L la self-induction du circuit de décharge, et $C_b$ la capacité des bouteilles intercalées.

Si l'on admet que la relation trouvée précédemment (²)

$$C_f L = l^2$$

où $C_f$ désigne la capacité du fil, s'applique également à des fils courbés, on peut encore écrire la formule de Kirchhoff :

$$\frac{\pi l}{\lambda}\operatorname{tg}\left(\frac{\pi l}{\lambda}\right) = \frac{C_f}{4 C_b} \qquad (2)$$

On vérifie facilement qu'elle contient comme cas limites, d'un côté la formule de Thomson, de l'autre la formule $\lambda = 2l$ se rapportant à des conducteurs linéaires.

14 (³). — M. Slaby chercha d'abord à vérifier expérimentalement la formule de Kirchhoff en opérant sur des circuits dont les constantes électriques pouvaient être bien déterminées. Il employa pour cela différents excitateurs de Hertz (fig. 4), montés avec des boules creuses de laiton de 30 et 60 cm de diamètre. Ces boules étaient suspendues par des fils isolants, et reliées à l'étincelle par du fil de cuivre nu de 1 mm de diamètre. La capacité électrostatique des boules se déduit, comme on le sait, de leur rayon, en les considérant comme montées en série. Les longueurs d'onde produites furent déterminées par les longueurs de résonance d'un fil secon-

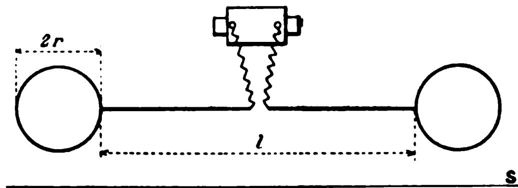



Fig. 4.

daire parallèle S de 1 mm de diamètre. Des mesures répétées n'accusèrent d'ailleurs entre elles que de faibles écarts, toujours en-dessous de 1/2 p. 100.

| N° | $l$ | DIAMÈTRE des boules. | $C_b$ | LONGUEUR |
|---|---|---|---|---|
| | cm | cm | cm | cm |
| 1 | 600 | 30 | 7,5 | 960 |
| 2 | 600 | 60 | 15 | 1 305 |
| 3 | 1 000 | 30 | 7,5 | 1 380 |

Si l'on emploie ces valeurs au calcul de la capacité des fils d'après la formule (2) de Kirchhoff, on trouve :

| N° | $l$ | $\frac{\pi l}{\lambda}$ | tg $\frac{\pi l}{\lambda}$ | $\frac{C_f}{C_b}$ | $C_f$ | $C_f$ p. 100 cm. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 600 | 0,982 | 1,497 | 5,88 | 44 | 7,3 |
| 2 | 600 | 0,722 | 0,881 | 2,54 | 38 | 6,3 |
| 3 | 1 000 | 1,138 | 2.166 | 9,86 | 74 | 7,4 |

La valeur moyenne de la capacité du fil pour une longueur de 100 cm est d'après cela 7 cm.

D'autre part, le calcul direct de cette capacité, d'après une formule de Breisig qui tient compte de la distance du fil à la terre, donne pour les conditions de l'expérience, le même résultat, 7 cm pour 100 cm de fil.

L'auteur en conclut qu'on peut appliquer la formule de Kirchhoff, avec une sécurité suffisante, aux circuits oscillatoires qui contiennent en même temps des capacités linéaires uniformément réparties, et des capacités ordinaires, telles que les sphères précédentes.

(¹) *L'Écl. Élect.* p. 442, 21 juin 1902.

(²) *L'Écl. Élect. Ibid...* Cette relation résulte des 2 égalités $L = 4\, l \log_e \frac{2l}{r}$ et $C = \frac{2l}{2 \log_e \frac{2l}{r}}$ mais ici la longueur du fil est $l$ au lieu de $2\,l$.

(³) Le numérotage des expériences fait suite à celui de la première partie.

15. — L'auteur forma ensuite des excitateurs circulaires avec 2 bouteilles de capacités différentes $C_1$ et $C_2$ et des fils de cuivre nu de 0,8 mm, de longueurs respectivement égales à 1, 2, 3 et 4 mètres.

Dans chaque cas, la longueur de résonance fut déterminée comme il a été dit, avec un fil secondaire distant de 40 mm du circuit vibrant (fig. 3). Les résultats sont les suivants :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $l =$ 100 cm. | 200 | 300 | 400 |
| $C_1$ | $\frac{\lambda}{2} =$ 1060 cm. | 1620 | 2065 | 2475 |
| $C_2$ | $\frac{\lambda}{2} =$ 1150 cm. | 1760 | 2225 | 2660 |

Pour chacune des 2 expériences faites avec une même longueur de fil, l'équation (1) donne :

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{\operatorname{tg} \frac{\pi l}{\lambda_1}}{\operatorname{tg} \frac{\pi l}{\lambda_2}} = \frac{C_2}{C_1}.$$

Le tableau suivant donne les résultats du calcul.

| $l$ | $\frac{\pi l}{\lambda_1}$ | $\operatorname{tg} \frac{\pi l}{\lambda_1}$ | $\frac{\pi l}{\lambda_2}$ | $\operatorname{tg} \frac{\pi l}{\lambda_2}$ | $\frac{C_2}{C_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 0,1482 | 0,1492 | 0,1366 | 0,1367 | 1,176 |
| 200 | 0,1939 | 0,1662 | 0,1705 | 0,1805 | 1,181 |
| 300 | 0,2282 | 0,2322 | 0,2118 | 0,2150 | 1,164 |
| 400 | 0,2539 | 0,2594 | 0,2361 | 0,2407 | 1,158 |
| | | | | Moyenne. . . . . | 1,170 |

On voit d'abord que, les plus grandes différences entre $\operatorname{tg} \frac{\pi l}{\lambda}$ et $\frac{\pi l}{\lambda}$ ne dépassant pas 2 p. 100, on peut, dans le cas actuel, sans dépasser ces limites d'erreurs, employer simplement la formule de Thomson pour le calcul de la longueur d'onde.

Les calculs précédents ne donnent que le rapport des capacités et non leur valeur absolue. Les capacités employées sont de l'ordre de grandeur de 100 cm, et l'on sait que la mesure d'aussi petites capacités est sujette à de grandes inexactitudes. Toutefois leur rapport peut se déterminer plus sûrement, et de nombreuses mesures faites avec le galvanomètre balistique donnèrent pour ce rapport la valeur moyenne 1,17, concordante avec celle déduite du calcul.

La mesure absolue des capacités employées était beaucoup plus difficile avec les installation que l'auteur avait à sa disposition ; il obtint toutefois avec le téléphone des résultats assez concordants ; comme moyenne de 9 expériences différentes, il trouve pour $C_1$ la valeur 140 cm, et dans les mêmes conditions pour $C_2$ la valeur 166 cm. Le rapport $\frac{C_1}{C_2}$ est, d'après ces mesures, égal à 1,18 et concorde suffisamment avec ce qui a été trouvé ci-dessus.

Pour le coefficient de self-induction d'un fil courbé en cercle, de longueur $l$, Stefan a indiqué la formule

$$L = 2l\left[\log_e \frac{l}{r} - 1,758\right]$$

qui, pour le fil de 0,8 mm employé dans les expériences, donne les valeurs suivantes :

| $l$ | L |
|---|---|
| 100 | 1 210 |
| 200 | 2 700 |
| 300 | 4 290 |
| 400 | 5 950 |

Si on calcule avec ces valeurs les capacités des bouteilles d'après la formule (1) de Kirchhoff, on a le tableau suivant :

| $l$ | $C_1$ | $C_2$ | $\frac{C_1}{140}$ | $\frac{C_2}{166}$ |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 93,4 | 109,9 | 0,67 | 0,66 |
| 200 | 97,4 | 115 | 0,70 | 0,69 |
| 300 | 99 | 115,2 | 0,71 | 0,69 |
| 400 | 102,1 | 118,3 | 0,73 | 0,71 |
| Moyennes. | 98 | 114,6 | 0,70 | 0,69 |

Ces valeurs sont beaucoup plus petites que celles mesurées directement ; le rapport moyen est 0,70 ou 0,69.

16. — Pour chercher une explication de ce résultat singulier, l'auteur recommença les expériences avec 3 capacités plus grandes dont la mesure, effectuée assez exactement, donna

$$C_3 = 310 \qquad C_4 = 573 \qquad C_5 = 1\,580 \text{ cm}.$$

Ces bouteilles furent montées en circuit fermé

avec une longueur de fil $l = 200$ cm, et la longueur d'onde déterminée en recherchant la longueur de résonance. Les capacités pouvaient ensuite se calculer en fonction de L et $\lambda$ par la formule de Thomson, vu que $\frac{\pi l}{\lambda}$ et tg $\frac{\pi l}{\lambda}$ concordent jusqu'à la 4e décimale (L est calculé par la formule de Stefan).

On a alors le tableau suivant :

| . | $l$ | $C_m$ mesuré. | L calculé. | $\frac{\lambda}{2}$ mesuré. | $C_c$ calculé. | $\frac{C_c}{C_m}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 200 | 310 | 2 700 | 2 475 | 230 | 0,74 |
| 2 | 200 | 573 | 2 700 | 3 460 | 449 | 0,78 |
| 3 | 200 | 1580 | 2 700 | 5 940 | 1236 | 0,79 |

Dans la figure 5, les rapports $\frac{C_c}{C_m}$ sont portés en fonction de la longueur d'onde, et M. Slaby fait remarquer que, d'après la courbe obtenue,

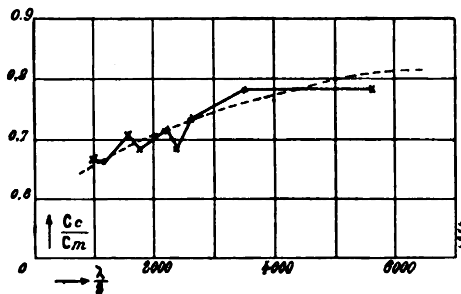



Fig. 5.

il est à peu près certain que *les capacités des bouteilles dépendent de la fréquence des vibrations* ; pour les fréquences employées, les capacités sont en moyenne de 25 p. 100 plus petites que celles trouvées par la méthode balistique ou avec le pont téléphonique.

Comme dans les expériences relatées au n° 14, avec des condensateurs à air (sphères des excitateurs), on n'a pas observé une pareille influence, l'auteur admet que le diélectrique des bouteilles, le verre, est la cause du phénomène. Il y aurait là une question intéressante à élucider.

17. — L'auteur a voulu voir ensuite s'il pourrait se servir des valeurs déduites d'expériences pour calculer à l'avance les longueurs d'onde qui seraient produites dans les circuits déterminés.

Il forma un circuit avec 3 m de fil de même dimension que précédemment et 2 bouteilles de

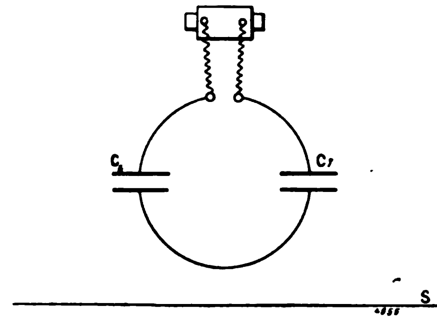



Fig. 6.

Leyde à peu près semblables (fig. 6) dont les capacités avaient été trouvées égales à

$$C_6 = 796 \text{ cm} \qquad \text{et} \qquad C_7 = 807 \text{ cm},$$

(par comparaison avec 2 condensateurs normaux de Siemens et Halske de chacun 0,01 microfarad).

En montage parallèle, les bouteilles donnèrent $C_6 + C_7 = 1598$ cm en sorte que la valeur la plus probable de la capacité, dans leur montage en série était

$$\frac{C_6 C_7}{C_6 + C_7} = 400 \text{ cm}.$$

Un calcul provisoire montre que la demi-longueur d'onde doit être comprise entre 30 et 40 m et il en résulte de la figure 5, le facteur de réduction correspondant 0,76.

Le calcul donne alors comme valeur définitive

$$\frac{\lambda}{2} = \pi\sqrt{400 \times 0,76 \times 4\,290} = 3\,580$$

La figure 7 est la courbe de résonance obtenue avec un fil rectiligne placé à 45 mm de distance du circuit ; elle présente sa valeur maxima pour une longueur de fil qui est exactement d'accord avec la longueur d'onde calculée.

Dans une mesure suivante, le fil secondaire fut mis en contact métallique avec le circuit siège des oscillations. La figure 8 montre que dans ce cas la longueur d'onde monte à 3600 cm c'est-à-dire augmente de 0,6 p. 100. Cette observation est particulièrement intéressante parce qu'elle montre que le changement de capacité éprouvé par le circuit vibratoire fermé, du fait de l'ad-

jonction d'un fil droit, n'a qu'une influence secondaire sur la longueur d'onde. En revanche, on provoque ainsi une élévation de tension de

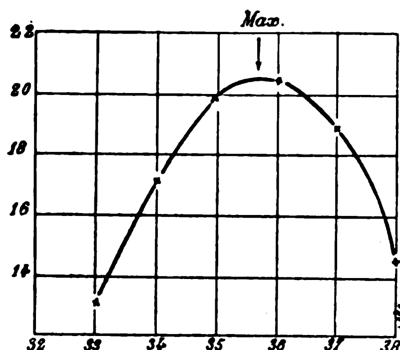


Fig. 7.

20,4 à 21,6 (indications du micromètre à étincelles), c'est-à-dire de 6 p. 100, ce qui prouve, que, par son contact avec le circuit vibrant, le fil secondaire reçoit une plus grande énergie. Cette remarque aura une importance assez grande dans la discussion ultérieure des montages transmetteurs.

Pour rechercher si la longueur d'onde est

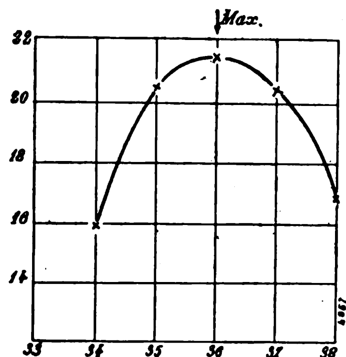


Fig. 8.

influencée par le voisinage du secondaire, la distance de 45 mm fut doublée ; on obtint exactement la même demi-longueur d'onde

$$\frac{\lambda}{2} = 3\,580.$$

De la même façon, il fut démontré que la proximité plus ou moins grande de la terre n'a qu'une influence tout à fait secondaire sur la longueur d'onde.

Enfin la première expérience fut recommencée en changeant la longueur d'étincelle. Jusque-là l'étincelle avait une longueur de 10 mm et éclatait dans l'air. Elle fut remplacée par une étincelle de quelques dixièmes de millimètre dans le pétrole. La demi-longueur d'onde ne changea pas ; elle resta de 3580 cm ; mais l'accroissement de tension au fil de résonance fut considérable ; la longueur d'étincelle au micromètre passa de 20,4 à 39, la réception d'énergie par le fil de résonance augmentant ainsi de 90 p. 100.

18. — Dans les recherches précédentes, on avait employé, aussi bien pour le circuit vibrant que pour le fil de résonance un fil de cuivre nu de 0,8 mm, pour rendre possible le calcul de la self-induction.

Dans les installations pratiques, l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft emploie, au lieu de fil simple, un cordon de 16 fils de cuivre parallèles de chacun 0,2 mm de diamètre. L'épaisseur totale de l'âme de cuivre est de 1 mm ; cette âme est entourée d'une couche de caoutchouc de 0,75 mm d'épaisseur, ce qui porte à 2,5 mm le diamètre total du fil isolé.

Pour un tel conducteur, on ne pouvait employer immédiatement la formule de Stefan, mais sa self-induction fut déterminée facilement par une mesure.

On forma de nouveau le même circuit qu'au n° 17, avec les mêmes bouteilles, le fil de cuivre nu étant remplacé par le cordon isolé. Le fil de résonance était toujours le fil nu de 8 p. 100. La demi-longueur d'onde fut trouvé de 3510 cm et de l'équation

$$3\,510 = \pi \sqrt{400 \times 0{,}75 \times L},$$

on déduit

$$L = 4\,160,$$

c'est-à-dire, en chiffres ronds, une valeur de 3 p. 100 plus petite que la valeur obtenue avec le fil nu de 8 mm.

19. — Les mesures de self-induction furent ensuite exécutées pour des enroulements du cordon sous forme de bobines. L'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, dans ses installations, emploie des cylindres en carton de 20 cm de diamètre sur lesquels est enroulé le cordon décrit précédemment en spires serrées les unes contre les autres.

Les 5 bobines suivantes furent essayées :

| NOMBRE DE SPIRES | LONGUEUR DU FIL en cm. | LONGUEUR MOYENNE d'une spire. |
|---|---|---|
| 1 | 66,5 | 66,5 |
| 2 | 134 | 67 |
| 3 | 201,5 | 67,2 |
| 4 | 267,5 | 66,9 |
| 5 | 335 | 67 |
| | Moyenne. . . . . | 67 cm. |

Ces bobines furent successivement intercalées dans un circuit oscillatoire de 300 cm avec les capacités $C_6$ et $C_7$, comme le montre la figure 9. La longueur de résonance était déterminée avec un fil secondaire tendu rectilignement à une distance de 45 mm.

On obtint les résultats suivants :

| NOMBRE DE SPIRES | DEMI-LONGUEUR d'onde $\frac{\lambda}{2}$ en cm. | $\alpha$ facteur de réduction pour la capacité, d'après la figure 5. |
|---|---|---|
| 1 | 3 950 | 0,77 |
| 2 | 4 710 | 0,79 |
| 5 | 5 600 | 0,80 |
| 4 | 6 670 | 0,81 |
| 5 | 7 680 | 0,82 |

Si $L_n$ désigne le coefficient de self-induction d'une bobine de $n$ spires, on a

$$\frac{\lambda}{2} = \pi \sqrt{400\,\alpha\,(4\,160 + L_n)}.$$

D'où les valeurs suivantes pour $L_n$ :

| NOMBRE DE SPIRES | $L_n$ | $L_n = L_1\, n^{1,64}$ calculé. | DIFFÉRENCE p. 100. |
|---|---|---|---|
| 1 | 973 | | |
| 2 | 2 953 | 3 032 | + 2,3 |
| 3 | 5 770 | 5 896 | + 2,1 |
| 4 | 9 753 | 9 430 | — 3,3 |
| 5 | 14 060 | 13 630 | — 3 |

Ces valeurs de $L_n$, ainsi que le montre la troisième colonne du tableau, suivent avec une exactitude suffisante pour le but envisagé, la loi

$$L_n = L_1\, n^{1,64}.$$

20. — La distance des spires a une notable influence sur la grandeur du coefficient de self-induction. Dans les recherches précédentes, les spires étaient enroulées l'une contre l'autre, la

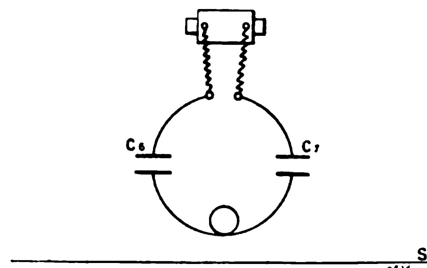



Fig. 9.

distance d'axe en axe de 2 spires voisines étant 2,5 mm.

La bobine de 5 spires fut alors enroulée, une fois avec une distance de 9 mm entre les spires, une autre fois avec 19 mm. On obtint des demi-longueurs d'onde de 69 m et 63 m.

Les résultats du calcul sont consignés dans le tableau suivant :

| DISTANCE des spires $\alpha$ en mm. | VALEURS réciproques $\frac{1}{\alpha}$ | $L_5$ en cm. | EXPOSANT $x$ de l'équation $L_5 = L_1\, 5^x$ |
|---|---|---|---|
| 2,5 | 0,4 | 14 060 | 1,64 |
| 9 | 0,115 | 10 730 | 1,49 |
| 19 | 0,053 | 8 250 | 1,33 |

Dans la figure 10, les exposants $x$ sont portés comme fonction de $\frac{1}{\alpha}$ ; on obtient une courbe qui, conformément à la théorie, indique pour $a = 0$ la valeur limite $x = 2$.

D. Oscillations dans les systèmes accouplés. — En juillet 1898, un assistant du professeur Slaby, M. Tietz, fit une observation importante rapportée dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 18 août 1898. Il trouva que, pour l'action à distance des fils transmetteurs rectilignes, *l'intercalation d'un condensateur en parallèle avec l'étincelle était très efficace*. Il pensa que cet accroissement d'action était dû à une plus grande quantité d'énergie mise en jeu. M. Slaby vérifia lui-même l'exactitude de l'observation, et voulut reproduire l'expérience à Potsdam, le 14 septembre 1898. Mais la mise

en parallèle avec l'étincelle d'une de ses plus grandes bouteilles de Leyde, non seulement n'occasionna pas une amélioration de la trans-

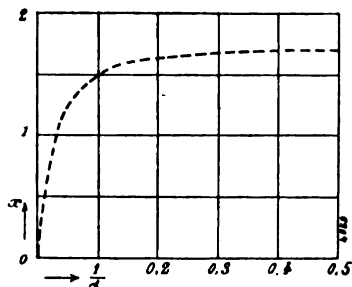


Fig. 10.

mission, mais causa même, à la grande surprise des intéressés, une diminution assez notable de l'effet produit.

M. Slaby chercha alors, par de nombreuses mesures faites dans des conditions très variées, à expliquer la contradiction. Il fut amené par ces recherches à conclure que, dans l'expérience de Tietz, par hasard, les rapports électriques s'étaient trouvés tels que la vibration de l'antenne ouverte était accordée sur celle du circuit fermé du condensateur, tandis que dans l'expérience de Potsdam, un désaccord prononcé entre les vibrations des deux circuits avait causé l'effet fâcheux observé.

Les expériences suivantes montrent clairement l'importance de cet accord.

21. — Le même cercle qui, dans l'expérience n° 18, avait donné avec 3 m de cordon isolé et

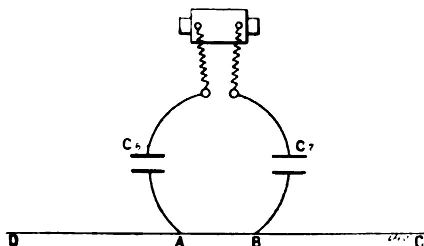



Fig. 11.

les capacités $C_6$ et $C_7$, une demi-longueur d'onde de 3510 cm, fut tendu rectilignement entre A et B (fig. 11) et relié en ces points à des fils additionnels d'égale longueur BC et AD.

Les extrémités en C et D furent raccourcies successivement d'égales longueurs, et la longueur d'étincelle mesurée au micromètre à l'une des extrémités.

Comme le montre la figure 12, la mesure fut commencée par CD = 39 m et donna, par raccourcissements successifs, des tensions toujours plus grandes jusqu'à CD = 35 m environ ; à partir de là, de nouveau une diminution régulière.

La courbe montre que la longueur d'étincelle maxima est obtenue pour CD = 3510 cm ; cette longueur de fil correspond donc à la réception d'énergie maxima.

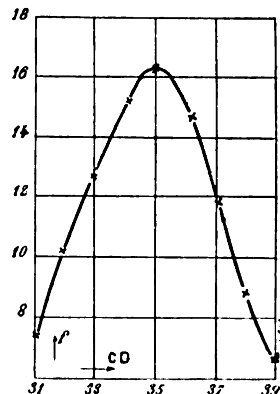



Fig. 12.

L'exploration du fil indique qu'il vibre dans une demi-longueur d'onde avec un nœud relatif au milieu entre A et B, et avec des ventres de tension aux extrémités. Le système de fils additionnels a une fréquence propre qui est complètement d'accord avec celle qui lui est communiquée ou imprimée par le circuit fermé.

Il est surprenant que la fréquence du circuit fermé ne paraisse pas changée par les fils additionnels ; il faut en conclure que le changement de capacité produit par la présence de ces fils est d'une importance tout à fait secondaire.

Pour transporter la plus grande énergie possible d'un circuit vibratoire fermé sur un fil rectiligne adjacent, deux conditions paraissent donc nécessaires :

1° Le fil rectiligne doit être disposé symétriquement par rapport au circuit fermé. (On verra ultérieurement jusqu'à quel point l'une des moitiés du fil peut être remplacée par la terre).

2° Le fil ajouté doit être accordé sur la fréquence du circuit fermé, c'est-à-dire que sa fréquence propre doit être d'accord avec celle qui lui est imprimée.

****

Dans les installations pratiques, comme la longueur du fil est la plupart du temps donnée, l'accord se fait alors en agissant sur le circuit fermé dans lequel on change la capacité intercalée ou la self-induction, jusqu'à ce qu'un volt-

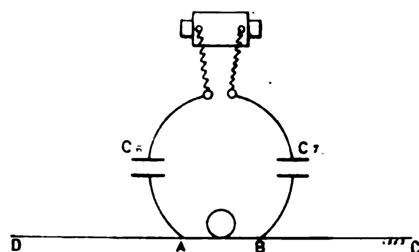


Fig. 13.

mètre, relié à deux points de l'antenne, dans le voisinage du point de jonction accuse le courant maximum.

22. — Les bobines dont il a été question au n° 19 furent ensuite insérées dans le circuit (fig. 13), et on détermina la longueur CD qui correspond à la réception d'énergie maxima.

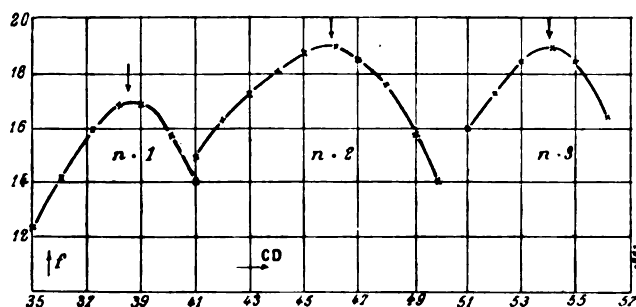


Fig. 14.

Dans la figure 14, sont portées les longueurs d'étincelle mesurées en C en fonction de la longueur totale du fil droit (sans tenir compte des longueurs d'enroulement des bobines).

| NOMBRE de spires des bobines | LONGUEUR CD du fil accordé. | LONGUEUR d'enroulement des bobines. | SOMME | DEMI-LONGUEURS d'onde d'après le n° 19. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 3 510 | 0 | 3 510 | 3 510 |
| 1 | 3 860 | 67 | 3 927 | 3 950 |
| 2 | 4 600 | 134 | 4 734 | 4 710 |
| 3 | 5 400 | 201 | 5 601 | 5 600 |

Comme le montre le tableau ci-dessus, ces valeurs de la longueur droite CD sont presque exactement égales aux demi-longueurs d'onde trouvées dans l'expérience 19 diminuées des longueurs développées des bobines.

D'après l'expérience présente, il est permis, dans les déterminations approximatives de la longueur d'onde, de négliger l'augmentation de capacité due à la présence des fils additionnels, si pour la vibration ouverte, on remplace les bobines par leur longueur de fil supposé droit. Le réglage exact résulte ensuite de la lecture du voltmètre.

J. Reyval.

## DIVERS

***Propriétés électriques des alliages de cuivre et de cobalt,*** par **G. Reichhardt**. *Dr. Ann.* t. VI p. 832-855, déc. 1901.

La couleur de ces alliages varie du rouge cuivre au gris cobalt ; ils sont d'autant plus difficiles à travailler que leur teneur en cobalt est plus grande. Au-dessus de 40 p. 100 de cobalt, ils ne se laissent plus ni scier, ni étirer. Cependant ces alliages peuvent être encore divisés en bandes étroites sur une raboteuse en employant un outil très étroit et trempé très dur.

*Résistance électrique.* — La résistance électrique de ces alliages subit une variation permanente quand on les chauffe : cette variation est plus grande que toutes celles observées jusqu'ici sur les autres métaux ou alliages.

| TENEUR en cobalt en p. 100. | DIMINUTION de résistance en p. 100. | TENEUR | DIMINUTION |
|---|---|---|---|
| 1,5 | 9.2 | 6.7 | 4,3 |
| 1.9 | 9.4 | 13.9 | 4.0 |
| 3.1 | 9.6 | 23.6 | 3.1 |
| 4.1 | 5,3 | 34,4 | 2.7 |
| 5.1 | 2,4 | 99.8 | 2.2 |

Après avoir été chauffés à 160°, les alliages paraissent avoir pris leur structure définitive, car la résistance n'éprouve plus de variation permanente. La résistance spécifique du cuivre augmente beaucoup par l'addition d'une quantité même assez faible de cobalt ; l'alliage à 3 p. 100 a une résistance environ six fois plus grande que celle du cuivre.

Au delà de cette proportion, l'augmentation

de résistance devient plus lente ; puis au delà de 80 p. 100 de cobalt, redevient très rapide (fig. 1).

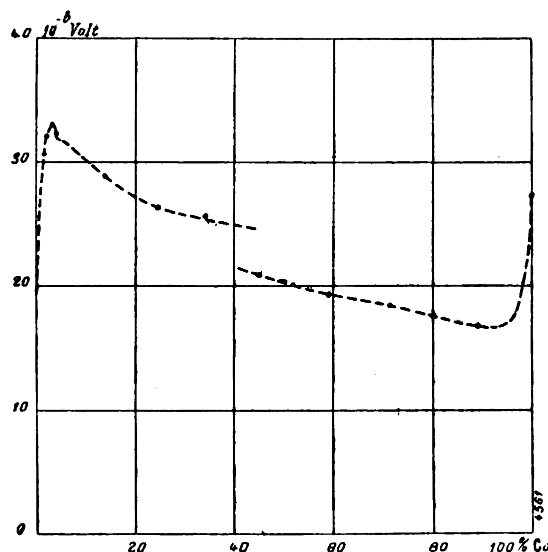



Fig. 1.

Entre 35 et 45 p. 100 la courbe est interrompue, parce que jusqu'à 35 p. 100, les échantillons

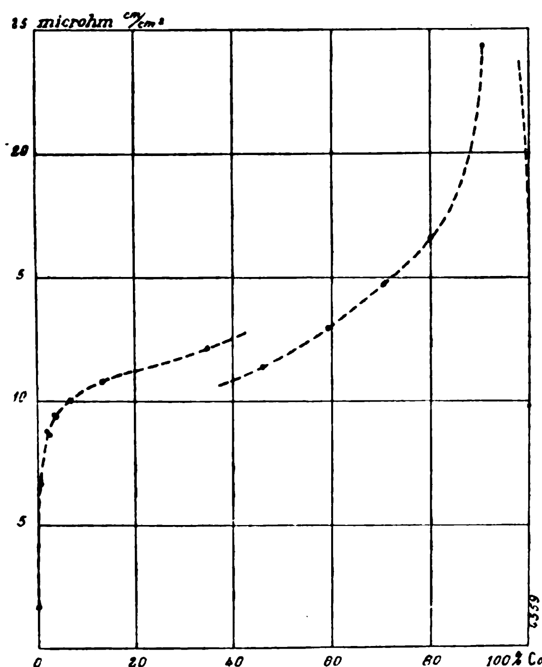



Fig. 2.

étaient sous forme de fils (métal étiré), à partir de 45 p. 100 sous forme de baguettes (métal fondu). L'alliage à 90 p. 100 présente une résistance environ trois fois plus grande que celle du cobalt pur ; il semble donc qu'il y ait un maximum entre 90 et 100 p. 100.

*Coefficient de température de la résistance.* — Quant on part du cuivre pur, ce coefficient décroît d'abord jusqu'à un minimum : 0,00077 qui correspond à peu près à l'alliage à 3 p. 100, il croît ensuite de nouveau, atteint la valeur

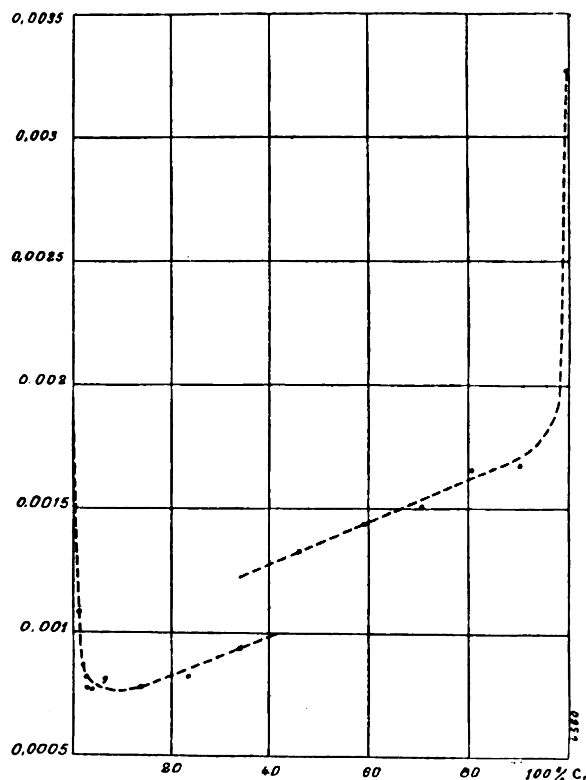



Fig. 3.

0,00167 pour l'alliage à 90 p. 100 et vraisemblablement croît encore très vite entre 90 et 100 p. 100, car le coefficient du cobalt pur est à peu près double de cette dernière valeur. L'interruption dans la courbe s'explique comme ci-dessus (fig. 2).

Il est à remarquer qu'à partir de l'alliage à 3 p. 100, le coefficient de température croît en même temps que la résistance spécifique elle-même ; c'est l'inverse de ce qu'on a observé pour tous les autres alliages.

*Pouvoir thermo-électrique.* — Le pouvoir thermo-électrique des alliages vis-à-vis du cuivre croît rapidement jusqu'à la teneur de 3 p. 100 en cobalt, qui correspond à un maximum : 33 microvolts pour une différence de 1°, puis décroît

ensuite plus lentement ; il paraît présenter un minimum entre 90 et 100 p. 100 (fig. 3) ; la force électromotrice est à peu près proportionnelle à la température. Avec le cobalt pur, elle croît beaucoup plus vite que la température.

Tous les alliages contenant plus de 1,5 p. 100 de cobalt sont magnétiques.

M. L.

# SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

## AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

*Séance du 24 janvier 1902* (¹)

***Relations entre l'énergie et la capacité du moteur et le diagramme des vitesses dans la locomotion électrique***, par **T. T. Hutchinson**. *Transactions*. t. XIX, p. 117-152, février 1902.

L'auteur se propose de donner une solution générale du problème de la détermination de l'énergie, de la puissance et des pertes pour chaque diagramme de vitesse, sur un parcours, avec une accélération initiale, une résistance à la traction, un freinage et une forme quelconque de courbe du moteur. Les figures 1 et 2 représentent tous les cas qui peuvent se présenter, dans la pratique, entre deux arrêts d'un train et la solution du problème comporte trois parties :

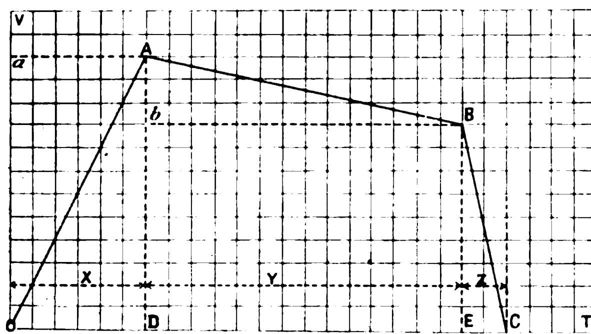



Fig. 1.

1° La détermination des éléments de la figure 1, pour en déduire tout diagramme de vitesses ; cette courbe des vitesses en fonction du temps (VT) est appelée *courbe type* par l'auteur.

2° La détermination d'une courbe générale de fonctionnement d'un moteur de tramway et la déduction, de cette courbe, de plusieurs autres.

3° L'application des courbes générales des moteurs à la courbe type de la figure 1, afin d'obtenir la solution générale des courbes (VT) de la figure 2. Chaque cas de la figure 2 est ramené à un cas de la figure 1, en appliquant une correction à la figure 2, représentée par l'aire MAN.

Les unités employées sont les suivantes :

Vitesse en milles (1 609 m) par heure ;

Accélération en milles par heure par seconde ;

Distance des deux stations, en pieds (0,305 m) ;

Temps, en secondes ; poids, en livres (0,454 kg) ;

Puissances, en kilowatts ; énergie, en watts-heures (¹)

En se reportant à la figure 1, elle représente le mouvement d'un train se déplaçant avec des accélérations positives ou négatives constantes entre les temps O, OD, OE, OC.

Les distances parcourues dans ces intervalles sont représentées par les aires OAD, DABE et EDC, et l'accélération par l'inclinaison des droites sur l'axe des temps.

Soient $a$, $b$, $c$, les accélérations le long de OA, AB, BC, $x$, $y$, $z$, les temps correspondant aux mouvements OA, AB, BC, $s_1$, $s_2$, $s_3$, les distances correspondantes, (aires OAD, etc.) T, le temps total OC ; L, la distance totale = aire OABC ; V, la vitesse moyenne $= 0{,}682 \frac{L}{T}$ (²). La

(¹) Voir *Écl. Élect.* t. XXXI, p. 228, 10 mai 1902.

(¹) On a entre ces unités les relations suivantes :

Milles par heure (mph) = 0,682 pied par seconde = 0,21 m par seconde ;

Milles par heure par seconde (mph.-sec.) = 0,682 pied par sec. par sec. = 0,21 m par sec. par sec. ;

Kilowatts (kw) = $9{,}1 \times 10^{-5}$ w (mph.-sec.) (mph.) ;

Watts-heure = $1{,}25 \times 10^{-8}$ w (mph.)² ;

Kilowatts par tonne (906 kg) = 0,182 (mph.-sec.) (mph.) ;

Watts-heure par tonne = $2{,}5 \times 10^{-2}$ (mph.)².

(²) La solution analytique se déduit des équations suivantes :

$$\text{Vitesses : } ax - by - cz = 0 ; \quad (1)$$

$$\text{Temps : } x + y + z = T ; \quad (2)$$

note ci-dessous indique les relations entre ces différentes quantités et la détermination des éléments du diagramme des vitesses.

---

Distances : $ax^2 - by^2 + cz^2 + 2axy = 2 \times 0{,}682$ L. (3)

Posons :

$$A = V : T = 0{,}682\ L : T^2 = 1{,}47\ V^2 : L; \quad (4)$$
$$2A_0 = ac : (a + c); \quad (5)$$
$$2M = (a + b)(a + c)(c - b);$$
$$K_1 = (c - b)/M^{1/2};$$
$$K_2 = (a + c)/M^{1/2};$$
$$K_3 = (a + b)/M^{1/2};$$

avec

$$K_1 + K_2 + K_3 = 0,$$

on aura

$$ax/T = 2A_0 - aK_1(A_0 - A)^{1/2}, \quad (9)$$
$$by/T = bK_2(A_0 - A)^{1/2}, \quad (10)$$
$$cz/T = 2A_0 - cK_3(A_0 - A)^{1/2}. \quad (11)$$

Ces trois équations donnent la solution générale du problème de la figure 1, avec 3 accélérations différentes. Le seul terme contenant la vitesse moyenne ou la longueur est A, tous les autres sont fonctions des trois accélérations; et A détermine complètement le diagramme. On peut lui donner le nom de « paramètre d'accélération ».

Tous les diagrammes possédant le même paramètre seront semblables, à l'échelle près. La valeur maxima de ce paramètre, pour des valeurs de $a$, $b$, $c$ données, est $A_0$, pour $y = 0$, c'est-à-dire quand il n'y a pas de mouvement retardé sur AB (ligne en palier).

Trois conditions importantes se déterminent immédiatement :

1° $a = \infty$; $\frac{x}{T} = 0$; $\frac{y}{T} = \left(\frac{c - 2A}{c - b}\right)^{1/2} \frac{z}{T}$
$$= 1 - \left(\frac{c - 2A}{c - b}\right)^{1/2}$$
$$\frac{ax}{T} = c - (c - b)^{1/2}(c - 2A)^{1/2}; \quad (14)$$

2° Ligne en palier, $y = 0$; alors $A_0 = A = \frac{ac}{2(a + c)}$;

3° Point de freinage, $z = 0$; alors $\frac{ab}{2(a + b)} = A$; $\frac{x}{T} = \frac{b}{a + b}$.

L'équation

$$A = A_0 = \frac{ac}{2(a + c)} \quad (15)$$

détermine le paramètre d'accélération maximum et l'équation

$$A = \frac{ab}{2(a + b)} \quad (16)$$

le paramètre minimum.

L'équation (14) donne la vitesse maxima pour une accélération initiale infinie; c'est-à-dire le plus faible maximum de la vitesse pour toute valeur de $A > \frac{b}{2}$. Pour des valeurs de $A < \frac{b}{2}$, la vitesse maxima pour une accélération infinie est un maximum maximorum, ainsi qu'il est aisé de le vérifier en exécutant le diagramme.

Les relations, entre ces quantités, sont mieux mises en évidence graphiquement. L'auteur a construit les courbes représentées par l'équation (15), en considérant $A_0$ comme fonction de $a$, avec $b = 0{,}2$ et pour $c = 2$, — 2,5, — et 3, puis une série de courbes donnant les variations de $\frac{x}{T}$, $\frac{y}{T}$, $\frac{z}{T}$ en fonction de A pour des valeurs de $a$ variant de 0,25 à 3, pour $a = \infty$, $b = 0{,}2$ et $c = 3$. En continuant de même, les courbes déduites de l'équation (9) et donnant les valeurs de $\frac{ax}{T}$ en fonction de A pour $b = 0{,}2$, $c = 3$, et pour $c = 2$, suivant différentes valeurs de $(a)$, le problème cinématique est complètement résolu.

Pour déterminer l'énergie et la puissance, l'auteur se limite au seul cas où la puissance est appliquée le long de OA (fig. 1) et la voiture est

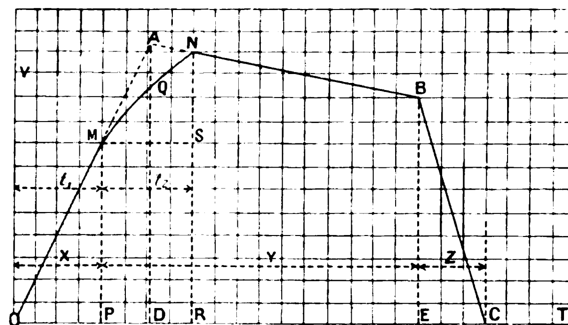


Fig. 2.

supposée gravir une rampe, avec un mouvement retardé d'accélération $(b)$, jusqu'en B où le freinage produit un mouvement retardé $(c - b)$, d'où une accélération négative totale C. L'hypothèse de $b$ constant est nécessaire pour la simplicité, bien que des variations notables de $b$ n'introduisent que de faibles différences. La valeur de $b = 2$ mph/sec. correspond à une force de 8,25 kg par tonne (906 kg) ; $b$ n'est autre que la résistance totale à la traction en palier, à vitesse uniforme, et, dans le cas d'un moteur électrique, comprend les frottements.

La force exercée le long de OA est

$$f = \frac{W}{g}(a + b) \text{ en livres (454 gr) } (g = 22)$$

et la puissance nécessaire sur l'essieu de la voiture par tonne (906 kg) est

$$2{,}50 \times 10^{-2}\left(1 + \frac{b}{a}\right) ax^2 \text{ watts-heure.} \quad (17)$$

La puissance par tonne (906 kg) est

$$P = 0{,}182\ (a + b)\ ax\ \text{kw}. \qquad (18)$$

La vitesse commerciale S dépend du temps $t$ des arrêts, on aura

$$T = 0{,}682\ \frac{L}{S} - t \qquad V = 0{,}682\ \frac{L}{T}$$

$$A = \frac{V}{T} = 1{,}47\ \frac{V^2}{L}$$

L'auteur ne considère pas cette vitesse S dans ce qui suit ; mais il supposera V et T déterminés au moyen de S, $t$ et L. Connaissant A, les équations établies dans la note 2 donnent $\frac{X}{T}$ et $ax$. L'énergie et la puissance à fournir seront déterminées par (17) et (18).

Pour appliquer ces considérations à la traction électrique et pour déterminer des quantités figurant dans la courbe VT (fig. 2), les caractéristiques des moteurs doivent entrer en ligne de compte.

En vue d'une solution générale, il est nécessaire de déterminer une caractéristique applicable à toutes les puissances des moteurs. L'auteur a établi les courbes des valeurs du couple et de la vitesse en fonction de la puissance fournie pour une vingtaine de moteurs de différentes grandeurs et de constructions diverses, et il est arrivé à la conclusion qu'une certaine de ces courbes peut être appliquée avec une exactitude suffisante à tous les moteurs modernes de tramways. Elle est représentée dans la figure 3. Les puissances fournies, en kilowatts, sont prises pour abscisses, les forces horizontales $f$ en livres (454 gr) et les vitesses V en milles (1609 m) par heure, en ordonnées. La charge normale correspond au point 100-100, pour une marche d'une heure, avec un échauffement de 75° C. La figure représente également les pertes, ces dernières varient plus que $f$ et V pour les différents moteurs.

Soient $\beta Y'$ la vitesse, $\alpha Y''$ l'effort horizontal ; en faisant varier $\alpha, \beta$, on pourra obtenir toutes les conditions possibles et on éliminera, par l'usage de ces deux grandeurs, la réduction des engrenages et le diamètre des roues, qui sont déterminés par des considérations étrangères à cette étude.

Pour chaque valeur de X, on a

$$f = \alpha Y'' \text{ livres } (0{,}454 \text{ kg})$$
$$V = \beta Y' \text{ mph.}$$

La puissance fournie est

$$\frac{\alpha\beta\, Y'Y''}{503}\ \text{kw}$$

et la puissance utile

$$\frac{\alpha\beta\, Y'Y''}{503\ e}$$

$e$ étant le rendement correspondant au point $XY'Y''$ de la courbe 3.

En choisissant le point (100-100-100) pour celui de la charge normale, on aura $e = 0{,}85$ et la puissance à fournir est

$$P = 0{,}234\ \alpha\beta X\ \text{kw}. \qquad (19)$$

La réduction de vitesse, le diamètre des roues et la capacité du moteur seront choisis pour donner la force et la vitesse désirées, au point choisi de la courbe des puissances fournies [1].

Dans ce qui suit, on admettra que les valeurs de $\alpha$ et $\beta$ correspondent à la charge normale.

Dans la figure 2, M est le point où la résistance extérieure est supprimée et où le moteur commence à fonctionner sur la caractéristique. La force exercée le long de OM est proportionnelle à $(a + b)$. Supposons qu'elle corresponde à la charge normale et représentons-là par le point $Y'' = 100$ de la caractéristique générale. La vitesse en M est alors $Y' = 100$ et égale à $\beta$ 100 mph. Le mouvement s'accélère jusqu'à un point N (fig. 2) où la vitesse est $\beta Y'$, $Y'$ ayant une valeur quelconque supérieure à 100 [2].

La courbe OABC (fig. 4) présente certains rapports avec la courbe du moteur OMNBC. La dis-

---

(1) Comme exemple, supposons qu'un moteur ait à exercer un effort horizontal de 2 000 livres (908 kg) à une vitesse de 20 milles (32 km) à l'heure et que ces conditions soient celles de la charge normale ; on a alors $\alpha = 20$, $\beta = 0{,}2$, $P = 0{,}936$ X.kilowatts. Le moteur à charge normale est de 93,6 kilowatts. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire de choisir le point de charge normale ; par exemple, si le moteur développe un effort horizontal de 2 000 livres, avec un couple de 125 p. 100, à une vitesse de 30 milles à l'heure, qui correspond à 93 p. 100, ce moteur développera une charge de 119 p. 100.

(2) La forme de la courbe MQN dépend du rapport $\frac{a}{b}$ ; la force en chaque point Q est donnée par

$$F = \frac{W}{g}\left(\frac{dV}{dt} + b\right) = aY'' \qquad (20)$$

où $Y''$ est l'ordonnée de la courbe des efforts (fig. 3).

tance parcourue dans le premier cas sera plus grande que dans le second, de l'aire MAN. Pour ramener ce dernier cas au premier, on détermine l'aire MAN pour chaque valeur de $a$ et pour le

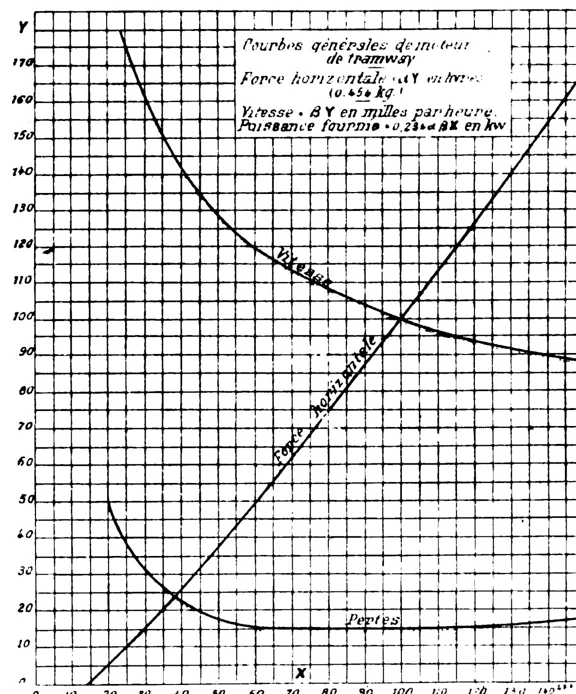



Fig. 3.

nombre de points voulus de la courbe du moteur; en appelant $\Delta$ cette aire, $1{,}47 \cdot \beta^2 \Delta$ est la distance en pieds (0,305 m) représentée par l'aire.

Soient $Y_t$ et A, la vitesse maxima $\overline{AD}$ et le paramètre d'accélération pour la courbe-type, $Y_m = \overline{RN}$, $A_m$, les mêmes quantités pour la courbe du moteur, soit aussi $X = \overline{OC}$, alors

$$L = L' - 1{,}47\,\beta^2\Delta$$
$$\beta^2 A_m X^2 = \beta^2 A X^2 - \beta^2\Delta$$

ou

$$A_m = A - \frac{\Delta}{X^2}.$$

Posons

$$\lambda = \frac{ax}{T} = \frac{Y_t}{X}.$$

---

Pour $Y'' = 100$ (charge normale) et le point M, on a

$$\frac{dV}{dt} = a,$$

d'où

$$a = \frac{W}{g}\,\frac{a+b}{100} \qquad (21)$$

et

$$\frac{dV}{dt} = \frac{a+b}{100}\,Y'' - b$$

mais

$$\frac{dV}{dt} = \beta\,\frac{dY'}{dt} = \beta\,\frac{\Delta Y''}{\Delta t}$$

et

$$\frac{\Delta t}{\beta} = \frac{\Delta Y'}{(a+b)\dfrac{Y''}{100} - b} \qquad (22)$$

$\frac{\Delta t}{\beta}$ s'obtiendra pour différentes valeurs de $a$ et $b$, en prenant $\Delta Y'$ sur la courbe des vitesses (fig. 3), et les valeurs correspondantes de $Y''$, d'où l'on déduira la valeur moyenne de la force $\Delta Y'$.

En prenant $\frac{\Delta t}{\beta}$ comme abscisse, et les vitesses comme ordonnées, on aura une courbe ($v$-$t$) correspondant à chaque valeur de $a$.

De (19) et (21), avec $W = 2\,000$ livres (908 kg), on déduit

$$P = 0{,}213\,(a+b)\,\beta \times X \text{ kw-tonne.} \qquad (23)$$

d'où une courbe

$$f(P, X) = 0$$

où X est pris sur la figure 3.

De même

$$W = \frac{1\,000}{3\,600}\int_{v=\beta.100}^{v=\beta Y} P\,dt \text{ wh-tonne}$$

et, en tenant compte de (23)

$$W = 5{,}92 \times 10^{-2}\,(a+b)\int_{100}^{Y} Y\,dX \text{ wh-tonne} \qquad (24)$$

XY étant les coordonnées de P.

La distance est donnée par

$$S = 1{,}467\int v\,dt = 1{,}467\,\beta^2\int_{100}^{Y} Y\,dX, \qquad (25)$$

où XY sont les coordonnées de $v$ sur les différentes courbes d'accélération.

L'auteur donne différentes courbes déduites de (22), (23), (24) et (25) pour $a = 3$, 2, 1 et 0,5. Le coefficient $a$ disparaît de ces courbes, où on n'a conservé que le coefficient $\beta$; la puissance et la vitesse sont proportionnelles à $\beta$, l'énergie et la distance à $\beta^2$.

La courbe de la figure 4 est déduite de ces courbes ($v$-$t$); la ligne OM représente l'accélération initiale, continuée à la vitesse $v = \beta.100$, jusqu'au point où commence l'accélération prise à la caractéristique du moteur. Au point N commence la rampe jusqu'à B où on applique les freins.

Les ordonnées multipliées par $\beta$ donnent la vitesse, et les abscisses, multipliées par $\beta$, donnent le temps; l'inclinaison est donc indépendante de $\beta$.

Alors

$$A_m = A - \Delta \left(\frac{\lambda}{Y_t}\right)^2$$

$Y_t$ se déduit des courbes $f(Y, X) = 0$ et $\lambda$ de la courbe de la figure 2, pour les différentes valeurs de A, $a$ et $Y_m$ ; on calcule ensuite A et

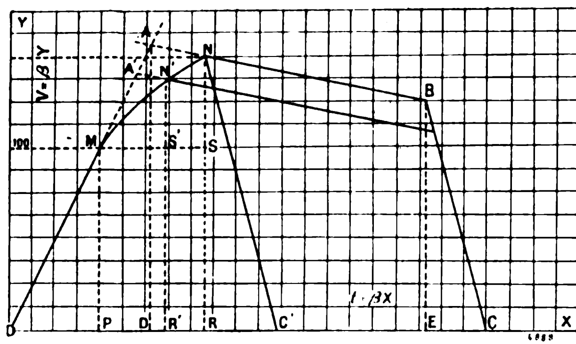



Fig. 4.

on construit ses valeurs en fonction de A, en se servant des valeurs de $\Delta$ préalablement calculées.

Les valeurs de $A_m$ pour toutes les valeurs de A, $Y_m$ et $a$ ont été déterminées de cette manière : les corrections pour les valeurs de $Y_m < 130$ sont négligeables ; et, comme on le verra, l'énergie minimum requise, pour tous les diagrammes et pour toutes les valeurs de $a$, correspond pratiquement à $Y_m = 130$, et l'auteur n'a conservé que cette seule valeur dans la suite de cette étude.

La courbe de la figure 5 indique les variations de $A_m$ en fonction de A, pour $Y_m = 130$ et pour les différentes valeurs de ($a$).

Le maximum de $A_m$ est atteint quand l'accélération est maintenue jusqu'au freinage et est représenté par OMNC' (fig. 4). La figure 2 donne les valeurs de A, et la figure 5, celles de $A_m$ correspondantes. Les valeurs ainsi calculées de $A_m$ sont représentées dans la figure 6 pour $Y_m = 130$.

L'énergie à fournir aux essieux a été déterminée plus haut ; elle dépend du système de régulation et du rendement du moteur. L'auteur suppose que l'on fait usage du système série-parallèle en deux manœuvres.

La puissance sur l'essieu à vitesse normale est 0,85 $P_0$, où $P_0$ est la charge normale, et cette puissance est proportionnelle à la vitesse. On suppose que le changement de la marche en série à la marche en parallèle se fait à demi-vitesse ; le rendement du moteur sera environ

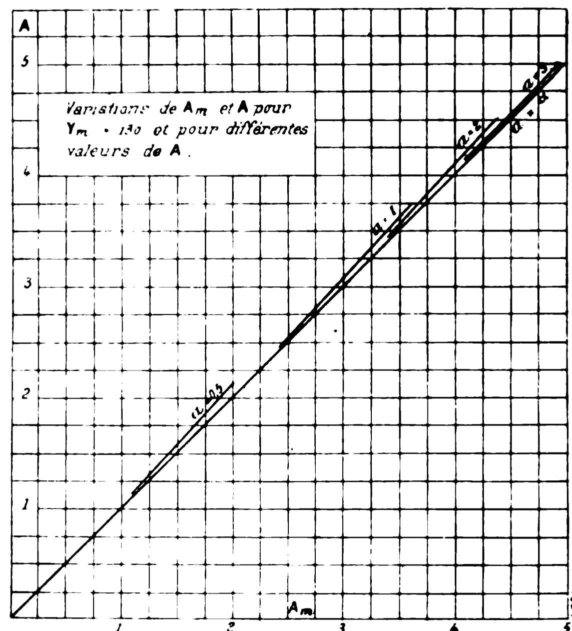



Fig. 5.

de 70 p. 100, à la marche en série, avec le courant normal. L'énergie à fournir jusqu'à la vitesse $v = \beta$ 100 est :

$$W_0 = 0{,}8\ P_0 t,$$

et la puissance utile,

$$W' = 0{,}425\ P_0 t,$$

donc le rendement jusqu'à vitesse normale est

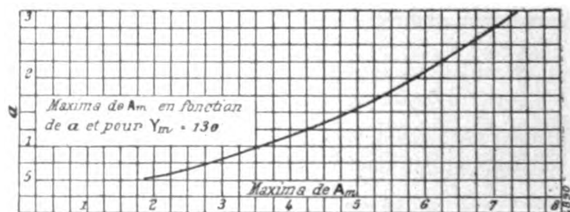



Fig. 6.

53 p. 100. En tenant compte de (23) et de $t_1 = \frac{100}{\beta}$, le travail électrique à fournir est par tonne (908 kg), jusqu'au point M.

$$W_0 = 475 \left(1 + \frac{b}{a}\right) \beta^2.$$

La constante de vitesse $\beta_0$ peut s'exprimer, d'après les équations

$$0{,}682\,L = AT^2$$
$$T = \beta X$$
$$X = \frac{Y_t}{\lambda},$$

par

$$\beta = \left(\frac{0{,}682\,L}{A}\right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{\lambda}{Y_t}\right) = \left(\frac{0{,}682\,L}{A}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{a}{Y_t} \cdot \frac{x}{T}. \quad (30)$$

En limitant l'étude à $Y_m = 100$ et $Y_m = 130$, la table suivante donne les valeurs de l'énergie par tonne (908 kg) en fonction de $\beta$.

| $a$ | $v = \beta \times 100$ | $v = \beta \times 100$ |
|---|---|---|
| 0,5 | $665\ \beta^2$ | $1115\ \beta^2$ |
| 1 | $570\ \beta^2$ | $865\ \beta^2$ |
| 1,5 | $535\ \beta^2$ | $800\ \beta^2$ |
| 2 | $522\ \beta^2$ | $767\ \beta^2$ |
| 3 | $507\ \beta^2$ | $732\ \beta^2$ |

La courbe de la figure 7 résoud tous les problèmes concernant l'énergie requise pour réaliser un graphique de vitesses quelconque ; elle montre clairement le peu d'économie en travail réalisé par l'emploi des fortes accélérations.

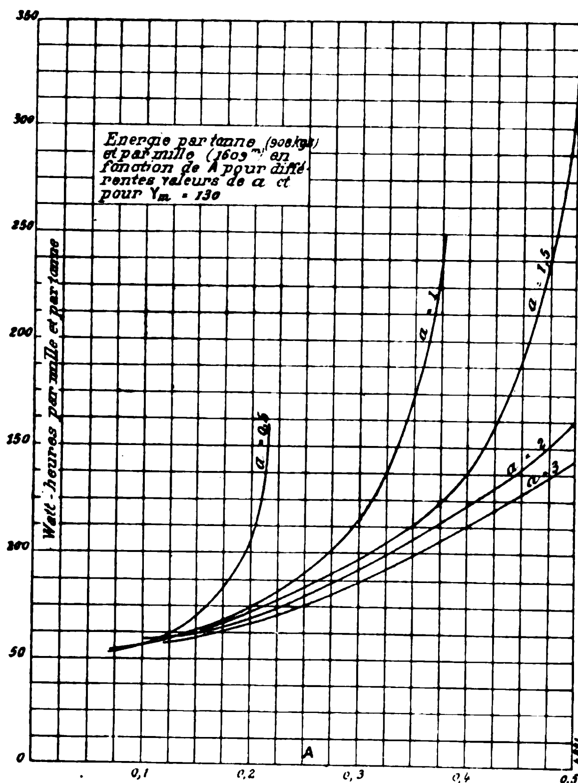



Fig. 7.

Il est nécessaire de déterminer la quantité de chaleur développée par le moteur sous toutes les conditions d'accélération initiale ou en parcours. Les pertes de chaleur dans le cuivre jusqu'au point M (fig. 4) sont proportionnelles au temps ; l'auteur admet le taux de 41 p. 100 comme perte dans le noyau d'armature par rapport aux pertes à vitesses normales ; des erreurs assez considérables sur ce nombre sont de peu d'importance.

L'examen d'un grand nombre de tramways modernes a montré que, à charge normale, $P_0$, la perte moyenne dans le noyau est de 3,4 p. 100 et dans le cuivre de 8,6 p. 100, soit 12 p. 100 de pertes totales, frottement non-compris. L'auteur donne pour la perte totale en échauffement jusqu'à la vitesse 130 $\beta$, totalisée pendant le temps T,

$$9{,}4\left(1 + \frac{t_2}{t_1}\right) \times \frac{100}{Y_t} \times \frac{x}{T} \text{ p. } 100$$

où $\frac{x}{T}$ est pris sur la courbe (fig. 2) et en supposant $A_m = A$.

La dépense d'énergie horaire d'un moteur de tramway est notablement plus forte que celle qui correspond à sa capacité normale. On peut admettre que cette dernière est utilisée pendant 25 p. 100 du temps de marche, la chaleur dégagée à débit normal, pendant un quart d'un cycle entier de marche amènera le moteur à sa température normale et l'on admet que ces cycles se répètent à des intervalles tels qu'un régime permanent s'établit. D'autre part, les pertes moyennes par échauffement, à charge normale, sont de 12 p. 100, un tel moteur peut donc dissiper d'une façon continue 3 p. 100 de sa capacité normale. Donc le maximum de $\frac{x}{T}$, doit être

$$\left(\frac{x}{T}\right)_0 = \frac{3}{9{,}4\left(1 + \frac{t_2}{t_1}\right) \times \frac{Y^t}{100}}.$$

Pour $Y_t = 100$, la valeur limite de $\left(\frac{x}{T}\right)_0$ est 0,3 quels que soient A et $a$, car des courbes déduites des équations (22), (23), (24) et (25), on tire les valeurs suivantes :

| | Pour $a =$ | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$) | $\left(\frac{x}{T}\right) =$ | 0,249 | 0,260 | 0,265 | 0,270 | 0,271 |

.....

Ce qui signifie que pour les diagrammes où $\frac{x}{T}$ est plus grand que 0,3, dans un cas et $\frac{x}{T} > 0,249$ etc., dans l'autre, la capacité doit être plus grande que celle qui est déterminée par la consommation, dans le rapport $\left(\frac{x}{T}\right) : \left(\frac{x}{T}\right)_0$ ; si $\frac{x}{T} < 0,3$, c'est la commutation qui détermine la capacité du moteur :

Dans ce dernier cas, les calculs précédents conduisent aux valeurs suivantes, pour la capacité du moteur.

$$\beta) \begin{cases} \text{Pour } a = & 0,5 & 1 & 1,5 & 2 & 3 \\ P_0 = & 14,9.\beta & 25,5.\beta & 36,3.\beta & 47.\beta & 63.\beta \text{ kw-tonnes.} \end{cases}$$

Les courbes de la figure 8 ont été construites

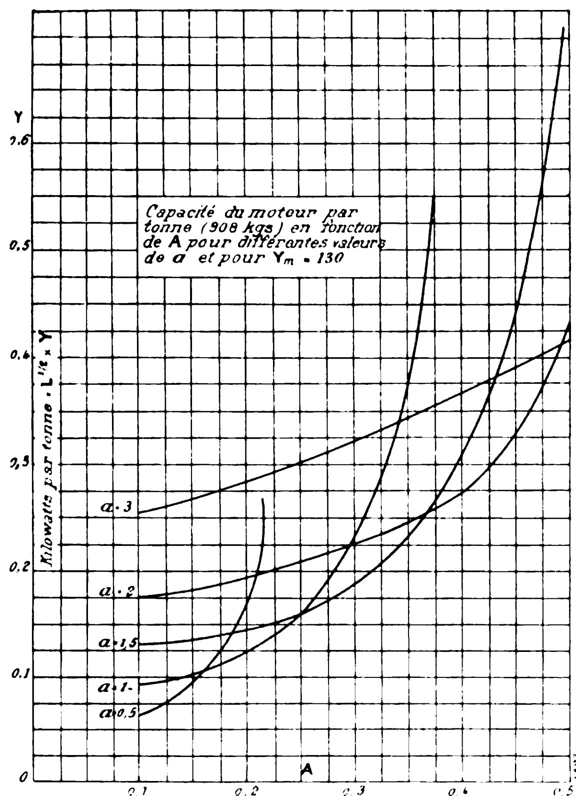



Fig. 8.

d'après ces données et indiquent les variations de la capacité du moteur suivant les différentes valeurs de A et $a$, pour $Y_m = 130$. On voit que pour $a = 0,5$, l'échauffement limite la capacité du moteur pour toutes valeurs de $A_0$ ; mais pour les plus grandes valeurs de $a$, c'est la commutation qui la limite pour les faibles valeurs de A, et c'est l'échauffement, pour les valeurs élevées de A (¹).

L'auteur donne enfin une courbe (fig. 9) indi-

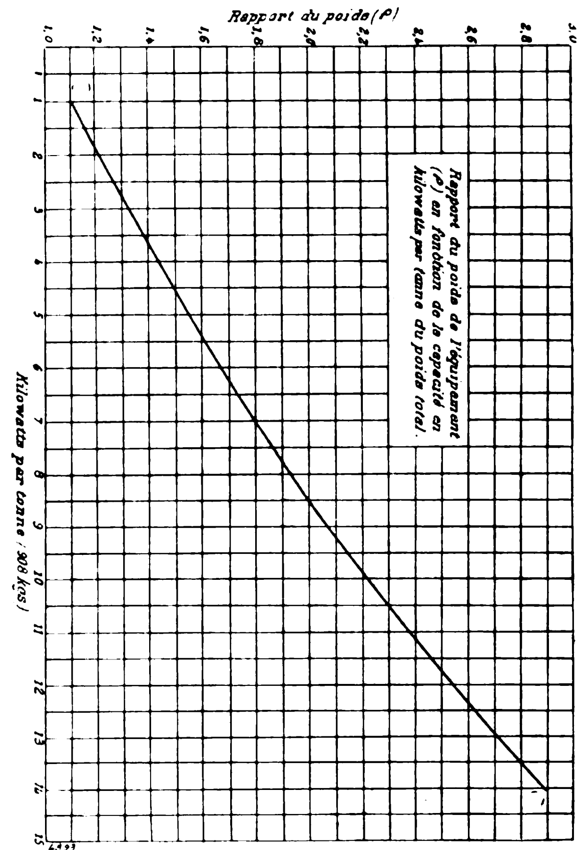



Fig. 9.

quant les rapports du poids de l'équipement en fonction de la capacité en kilowatts par tonne du poids total. Cette courbe montre que pour des accélérations initiales élevées, la capacité du

(¹) L'auteur insiste sur les conditions sous lesquelles ces courbes ont été obtenues, à savoir : 1° la limite de la puissance à fournir, déterminée par la commutation, est la capacité normale ; 2° la limite déterminée par l'échauffement est une puissance à fournir qui devra être, pour le temps total, les 3 p. 100 de la puissance perdue dans le cuivre et le noyau d'armature. L'auteur admet que les moteurs fonctionnent souvent à des charges beaucoup plus fortes que la capacité normale en service régulier, mais pour des services présentant des arrêts nombreux, le nombre ci-dessus n'est pas trop réduit, si l'on a en vue de faibles dépenses d'exploitation. D'ailleurs il est aisé de refaire l'étude pour des surcharges quel-

moteur est généralement beaucoup plus élevée que pour les faibles accélérations. Il en résulte aussi une augmentation du poids de l'équipement, trucks, contrôleurs, etc., et par suite, une énergie plus grande à fournir. Pour établir une comparaison exacte de l'énergie nécessaire pour les différentes accélérations, les valeurs de la figure 7 devront être multipliées par le rapport des poids correspondant aux deux cas.

La capacité de l'équipement est proportionnelle à $L^{1/2}$ et comme la distance varie dans chaque cas, on ne peut en déduire de résultats généraux.

D'après les calculs que l'auteur dit avoir effectués sur un grand nombre de cas de la pratique, l'énergie dépensée par mille est toujours d'autant plus faible que l'accélération l'est elle-même.

Ainsi, si on prend

$$V = 16,5 \text{ mph } (26,5 \text{ km à l'heure}),$$
$$L = 2\,000 \text{ pieds } (610 \text{ m}),$$

Alors

$$A = 2.$$

d'où l'on déduit la table suivante :

| $a$ | Kilo-watts-tonne. | Watts-heure-tonne. | $\rho$ | $\rho \times$ watts-heure-tonne. Watts-heure. | P. 100. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,5 | 7,6 | 106 | 1,87 | 198 | 174 |
| 1 | 5,6 | 75 | 1,63 | 114 | 100 |
| 1,5 | 6,5 | 73 | 1,73 | 126 | 111 |
| 2 | 8,7 | 70 | 2,03 | 142 | 124 |
| 3 | 12,6 | 67 | 2,65 | 177 | 156 |

La dernière colonne montre que l'énergie requise par mille, ainsi que la capacité sont minima pour l'accélération de 1 mph./sec. (1).

L'auteur conclut de cette étude que l'accélération qui conduit à la plus faible capacité du moteur par tonne est généralement la plus économique. L'économie d'énergie minime réalisée par les accélérations initiales élevées n'est pas comparable avec les désavantages qui en résultent, à savoir les charges croissantes avec la puissance des moteurs et de la distribution ; la diminution du coefficient d'utilisation, la dépense plus grande d'exploitation, la difficulté de manipulation appropriée des voitures, et, par-dessus tout, les désagréments pour les voyageurs.

*Séance du 22 août 1901*

***Discussion des communications de MM. Aldrich, Perrine, Scott, Steinmetz et Rice, sur les systèmes de transmission de l'énergie.***
D'après *Transactions*, t. XIX, p. 166-187, n° de février 1902.

M. Duny, vice-président, invite les orateurs à

---

conques au démarrage : les résultats seront peu modifiés.

De même, en ce qui concerne l'échauffement, le chiffre de 3 p. 100 n'est pas absolu, mais représente une bonne moyenne.

Comme toute cette discussion est basée sur l'hypothèse que la charge à fournir au moteur le long de OM (fig. 4) correspond à sa capacité normale, il semble à première vue que l'augmentation de capacité nécessitée par l'échauffement doive vicier toutes les déductions précitées. Mais ni les vitesses, ni l'énergie sur les essieux ne sont modifiées. Le seul changement consiste dans une modification des pertes en échauffement au démarrage, ce qui n'affecte pas grandement l'énergie à fournir puisque la plus grande partie de ces pertes s'effectue dans les résistances extérieures ; et par conséquent les courbes d'énergie par mille ne sont pas altérées profondément. Ces modifications changent, en tous cas, la chaleur dissipée dans le moteur ; donc les capacités de la figure 8 seront un peu trop faibles.

(1) Dans le cas du service d'express proposé sur la « New York Rapid Transit Line », on a pour le diagramme des vitesses 35 mph., pour une distance de 7 500 pieds (2 280 m), avec un arrêt de 15 secondes. Dans ce cas

$$V = 38,8 \text{ mph},$$
$$A = 0,275.$$

D'où la table :

| $a$ | 1 | 1,5 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| Kilowatts-tonne . . | 16,7 | 14,9 | 18,8 | 26,9 |
| Watts-heure-tonne. | 102 | 82 | 72 | 62 |

Ce qui montre l'impossibilité de réaliser un tel graphique de vitesses avec les hypothèses admises dans cette étude, la capacité requise de 14,9 kilowatts-tonne est en dehors de toutes les conditions pratiques ; pour une accélération de 3 mph., le poids du moteur de 26,9 kilowatts sera approximativement d'une tonne, c'est-à-dire tout juste suffisant pour démarrer son propre poids à cette accélération initiale.

discuter simultanément toutes les communications présentées à la séance du 22 août.

M. Shepherdson déduit, de la conclusion de M. Perrine au sujet de l'influence du rayon de courbure sur la rupture diélectique, qu'un conducteur plein est préférable à un conducteur câblé, et que, dans certains cas, l'aluminium est à préférer au cuivre. Il en résulte que l'on peut, avec l'aluminium, employer des tensions plus élevées et transporter de faibles puissances à de plus grandes distances, l'économie ainsi réalisée compensant le prix plus élevé de l'aluminium.

En ce qui concerne l'aplatissement des courbes de tension dû aux capacités, d'après M. Perrine, M. H. W. Fisher cite une série d'essais fait par lui sur un kilomètre de câbles environ, d'une capacité de 0,2 à 0,3 microfarad avec une génératrice de 2500 kilowatts et un transformateur [1].

M. W. L. R. Emmet, en discutant la communication de M. Scott, ne pense pas que les troubles signalés se présentent dans la pratique ordinaire, et il ne lui semble pas nécessaire qu'un moteur doive être spécialement adapté aux conditions de son emploi, au fonctionnement des commutatrices, etc. Dans le cas d'un moteur synchrone, les variations de la courbe de force électromotrice ou de vitesse dans un système introduisent des différences seulement dans les harmoniques supérieures qui sont considérablement amorties par les self-inductions; les courants qui en résultent sont inappréciables. Pratiquement, les moteurs synchrones fonctionnent avec toutes sortes de courbes de force électromotrice, de variations et de conditions. — Quant à la question d'adapter l'excitation des moteurs synchrones aux variations de voltage de la ligne, M. Scott estime qu'un moteur à excitation fixe tend à agir comme régulateur du système, les variations du facteur de puissance variant très peu avec la charge quand le moteur est bien étudié. [1]

M. Kennelly, à propos de la communication de M. Scott, pense que l'emploi simultané des moteurs synchrone et asynchrone est à recommander dans les distributions très étendues. Sans moteur synchrone, le facteur de puissance est trop faible [2].

M. Steinmetz, président, discutant le parallèle établi par M. Scott entre les moteurs synchrone et asynchrone, admet que pour les faibles puissances, la simplicité de ce dernier doit le faire préférer; dans ce cas, d'ailleurs, les quelques inconvénients sont aisément corrigés par l'emploi de moteurs synchrones dans le même système. L'orateur a surveillé l'étude de moteurs des deux systèmes, représentant une puissance de plusieurs centaines de kilowatts et admet difficilement qu'on emploie le moteur asynchrone dans tous les cas où le moteur synchrone est possible [3]. Il prétend n'avoir jamais vu de moteur

(1) La relation entre la tension maxima et la tension efficace s'observait au moyen d'un voltmètre Weston et d'un micromètre à étincelles, qui indiquait jusqu'à 10 ou 12 000 volts. On observait que la capacité augmentait la distance de rupture. Il en résulte donc que si la capacité aplatit la courbe de tension, la distance de rupture est affectée par la capacité dans le sens d'une augmentation de cette distance avec une diminution de la tension maxima ; ou bien il faut admettre que la capacité produit un effet dans un sens ou dans l'autre suivant sa grandeur. Mais l'orateur croit pouvoir certifier que, dans ses expériences, la courbe de tension devenait pointue ; il trouva, en outre, que la longueur d'étincelle diminuait avec la charge de la génératrice.

(1) Au sujet des variations de tension désastreuses introduites par les systèmes d'ouverture des circuits (communication de M. Steinmetz), M. Scott examine la résistance à la rupture diélectrique de différents isolants. L'air sec est le plus parfait des isolants, la rupture diélectrique y est assez forte, mais elle s'effectue, sans dépense d'énergie, dès que la tension entre deux points atteint une valeur déterminée. Au contraire, les isolants solides et présentant une constitution continue, exempte de pores, de crevasses et de passages d'air, exigent une grande dépense d'énergie à la rupture. Les élévations de tensions citées par M. Steinmetz sont de haute fréquence et durent trop peu pour désagréger l'isolant. Aussi arrive-t-il que des décharges se produisent, dans l'air, entre parties métalliques séparées de distances de plus d'un mètre, sans que l'isolant des transformateurs ou autres appareils soit endommagé, même avec des décharges atmosphériques.

(2) L'orateur insiste sur l'importance des facteurs « évanouissants » que M. Steinmetz signale dans toute équation de circuits alternatifs. Ce fait est bien distinct des résonances, qui, outre certaines conditions de capacité et de self-induction des circuits, supposent l'existence d'harmoniques supérieures dans l'onde de force électromotrice ; elles donnent lieu à des oscillations forcées. Au contraire, pour les oscillations produites par des variations brusques de courant ou de force électromotrice d'un système, ces oscillations se produisent indépendamment de toutes les conditions de fonctionnement du système.

(3) M. Steinmetz reprend le parallèle de M. Scott, y trouve des lacunes et y fait certaines réserves. Ces objec-

asynchrone démarrant à pleine charge avec un courant de une fois et demie à deux fois et demie le débit normal; les nombres 5 et 6 lui paraissent plus près de la vérité [1].

M. Perrine cite le cas d'un moteur asynchrone garanti pour un courant de démarrage égal à une fois et demie le débit de pleine charge, mais son arbre était relié par quatre manchons d'embrayage aux appareils qu'il devait actionner, les embrayages s'effectuant successivement. Dans un autre cas, une génératrice de 450 kilowatts ne pouvait faire démarrer un moteur de 300 kilowatts; on dut modifier les anneaux terminaux de la cage d'écureuil, le démarrage s'obtint aisément, mais aux dépens du rendement.

M. Stillwell se déclare, au contraire, partisan du moteur asynchrone dans tous les cas où on peut l'employer [2].

tions ont été formulées à différentes reprises, devant l'Institut américain, et sont elles-mêmes trop sujettes à controverse pour que nous y insistions longuement. (N. du T.)

[1] M. Steinmetz concède que le moteur synchrone exige certaines conditions de fixité de la fréquence, de résistance du circuit d'alimentation, etc., et que le moteur asynchrone est mieux approprié aux couples de démarrage intenses avec courants faibles, grâce à l'emploi de résistances variables dans l'armature. Le moteur synchrone, d'autre part, représente une force électromotrice « active » et a l'avantage de pouvoir fonctionner comme génératrice, le cas échéant; il est plus petit et d'un rendement plus élevé que le moteur asynchrone; il peut être enroulé directement pour des tensions de 10 000 volts, et, c'est, suivant l'orateur, le moteur le mieux approprié aux distributions puissantes.

[2] Il ne reconnaît qu'un avantage au moteur synchrone, c'est d'augmenter le facteur de puissance du système, encore cet avantage n'est-il pas très réel en pratique. Il est, en effet, impossible, dans une grande station comme Buffalo, de disposer d'un personnel capable de régler l'excitation des moteurs synchrones et des commutatrices en vue d'agir sur le facteur de puissance du système. Les établissements du Niagara ne paient, en effet, que 250 fr par mois, les 24 électriciens des 12 sous-stations.

Quant au démarrage, l'orateur cite le cas de commutatrices de 375 kilowatts absorbant environ cinq fois la puissance de la pleine charge pour le démarrage; dans d'autres cas, le démarrage des commutatrices s'obtenait au moyen du courant continu envoyé d'un transformateur rotatif actionné par un moteur asynchrone.

Un autre inconvénient du moteur synchrone est, suivant l'orateur, le décrochage provenant de court-circuits et de chutes de potentiel même ne durant qu'une demi-seconde, mais atteignant des valeurs de 50 p. 100. Quant à la forme des courbes de tension, il lui semble préférable qu'elle se rapproche le plus possible de la sinusoïde et que les constructeurs ne s'en rapportent pas trop aux self-inductions pour produire ce résultat.

M. O. Smith envisage l'emploi du moteur asynchrone dans les ateliers où il y a une tendance de plus en plus marquée à actionner directement les machines outils individuellement. Jusqu'à présent, c'est au moteur à courant continu qu'on a demandé cette tâche; mais, si le courant alternatif doit entrer en lice, il n'est pas de doute que la simplicité du moteur asynchrone, sa souplesse aux charges et aux vitesses variables des machines-outils, sa facilité d'entretien et de surveillance doivent le faire préférer de beaucoup au moteur synchrone.

Au sujet des pertes d'électricité, à travers l'air entre deux conducteurs. M. Mershon, rappelle qu'il est bien établi que la perte est fonction du taux de la chute du potentiel à la surface des fils, taux qui est lui-même fonction du rayon de courbure des fils et de leur distance [1].

[1] Quand la distance est grande par rapport au diamètre, ce dernier conserve seul de l'importance. Mais il est difficile de déterminer les variations de la perte suivant les sections des conducteurs, car il est impossible d'obtenir des fils également unis ou uniformément rugueux, surtout quand ils sont exposés à l'air, et dans ce cas, la différence des pertes entre un conducteur câblé et un conducteur solide ne saurait être bien grande. L'orateur regrette que M. Perrine ait passé sous silence le choix du meilleur voltage à adopter dans un transport d'énergie, au point de vue des pertes sur la ligne. Cette question se rattache aux pertes à travers l'air, aux hautes tensions, en ce que, grâce aux chutes de tension considérables dans ce genre de lignes, la perte par unité de longueur de ligne diminue depuis la station génératrice à la station réceptrice; ce qui diminue notablement la perte totale entre conducteurs. Ces pertes dépendent, en outre, de la forme des ondes de courant, en corrélation avec la capacité et la réactance de la ligne, sans qu'on puisse se fier à la forme aplatie des ondes génératrices pour diminuer ces pertes.

L'orateur, en ce qui concerne le facteur de puissance, estime que les valeurs élevées qu'on attribue à l'emploi du moteur synchrone sont plutôt théoriques. Les variations de voltage dans le circuit, de résistance dans l'excitation, etc., amènent forcément des variations notables du facteur de puissance, de sorte qu'il est difficile de trouver une distribution où il soit maintenu dans le voisinage de 95 p. 100. Au point de vue de l'acheteur, M. Mershon cite une occasion où il eut à choisir entre le moteur asynchrone et le moteur synchrone. Les rendements garantis par différents constructeurs étaient les mêmes, même pour ceux qui offraient les deux espèces de moteurs; les facteurs de puissance garantis à pleine charge étaient de 92 et 92,5 p. 100.

M. Dunn, en se félicitant de la présence des visiteurs étrangers, invite M. P. Janet, délégué de la Société Internationale des Electriciens à prendre part à la précédente discussion.

M. Paul Janet s'excuse du peu de temps dont il a pu disposer pour étudier l'importante communication de M. Steinmetz : Il se contentera de citer, en corrélation avec cet ordre d'idées, un accident qui s'est produit à l'Exposition de Paris, en 1900. Un ouvrier avait par mégarde enfoncé un clou dans un câble qui traversait la Seine, sous la passerelle. Un court circuit se produisit, et deux ruptures de l'isolation eurent lieu en même temps à 2 ou 3 kilomètres de l'accident.

Comme inconvénient du moteur synchrone, M. P. Janet cite un autre accident arrivé sur une ligne à 12000 volts. Une réparation étant nécessaire sur la ligne, on téléphona à la station d'arrêter les génératrices. L'ordre exécuté, l'ouvrier chargé de la réparation reçut une violente commotion en touchant la ligne; il était arrivé qu'un moteur synchrone qui fonctionnait en parallèle avec une turbine, avait continué à marcher comme génératrice et, par l'intermédiaire de ses transformateurs, conservé la haute tension sur la ligne. Un tel accident aurait été évité au moyen du moteur asynchrone; il faut dire cependant qu'il est facile d'imaginer des appareils automatiques isolant la ligne dans des cas de ce genre.

M. Steinmetz, président, croit, en effet, que de tels appareils existent à Buffalo.

Sur la question des décharges lumineuses à hautes tensions, l'orateur pense que les pertes sur les conducteurs câblés dépendent moins de la grosseur des fils que du rayon général de courbure; il appuie son opinion sur ce fait que plus la tension croît entre des électrodes, moins la forme, pointue ou sphérique, de ces électrodes intervient dans la décharge, qui agit sur un espace de courbure pratiquement uniforme où se produit la décharge lumineuse [1].

M. Aldrich dit quelques mots au sujet du fonctionnement sur le même circuit de moteurs synchrones et asynchrones [1].

M. Perrine reconnaît qu'avec les distances usuelles des conducteurs dans les lignes, le câblage du conducteur est de peu d'importance dans les pertes à travers l'air, ce qui rend possible l'emploi de l'aluminium avec une certaine économie, et ce qui est assez heureux, car l'aluminium est difficile à employer comme conducteur plein [2].

La parole est donnée à M. Scott pour clore la discussion sur sa communication. Il fait d'abord remarquer que MM. Steinmetz et Emmet ont mis en évidence que les difficultés théoriques d'adaptation du moteur synchrone au circuit sont heureusement résolues aujourd'hui par une étude attentive des conditions d'emploi. Mais précisément ces conditions exigent de l'ingénieur, du constructeur et du preneur une attention plus sérieuse et plus diverse que dans le cas du moteur asynchrone. L'orateur ne prétend d'ailleurs pas établir l'impossibilité de l'emploi du moteur synchrone, mais il essaye de mettre en

---

(1) Au sujet des moteurs synchrones et asynchrones, l'orateur rappelle que l'avantage de l'un ou l'autre dépend de la forme de la courbe des couples ; d'après ses expériences antérieures, M. Steinmetz conclut que le couple maximum du moteur synchrone, dans une certaine étendue, varie proportionnellement à la tension aux bornes, tandis qu'il varie, dans le moteur asynchrone, avec le carré de cette tension.

Aussi, toutes choses égales d'ailleurs, le couple du moteur synchrone se maintiendra mieux que celui de son rival. La raison en est probablement que, dans le moteur asynchrone, les deux facteurs du couple, l'intensité du champ magnétique et le courant induit dans l'armature, diminuent tous deux avec la tension appliquée. Par contre le moteur synchrone est plus sensible aux variations de la fréquence.

(1) Le moteur asynchrone peut être inséré dans le circuit, quelque soit la charge du moteur synchrone si ce dernier a un facteur de puissance voisin de l'unité. Mais s'il est surexcité, il donne lieu à des courants intenses décalés en avant, il est très difficile de neutraliser par l'inductance du moteur asynchrone l'effet de capacité ainsi produit, et le moteur synchrone se décrochera à la mise en marche du moteur asynchrone. Si le moteur synchrone est peu chargé, l'introduction du moteur asynchrone fait fondre tous les plombs.

(2) Quant à la forme pointue donnée aux courbes de force électromotrice par l'effet de capacité, le fait peut se présenter dans certaines circonstances comme le pensent MM. Fisher et Mershon. Mais l'orateur maintient, qu'en général, avec les circuits ordinaires, et les formes de courbes de tension communes, l'onde de force électromotrice est aplatie sous l'influence de la capacité — non pas à la génératrice — mais le long de la ligne ; bien qu'accidentellement une des harmoniques puisse entrer en résonance et introduire des pointes dans ces courbes.

évidence certaines conditions, principalement de service, qui différentient les deux genres de moteur et, à son avis, avantagent le moteur asynchrone.

On a tenté, à maintes reprises, de faire un épouvantail du courant de démarrage du moteur asynchrone, mais l'orateur constate qu'on a passé sous silence les conditions de démarrage du moteur synchrone. Le moteur asynchrone démarre seul, et s'il exige souvent un courant assez intense, le couple développé, entraîne non seulement l'armature, mais encore la pleine charge qui peut y être appliquée.

S'il y a entre les deux moteurs une différence théorique dans les rendements, c'est plutôt à la pratique qu'il faut demander la valeur de cette objection. L'orateur estime qu'une classe d'appareils qui occasionne moins de troubles, présente moins de chances d'accidents, moins de risques d'arrêt dans les lignes et les services, est à préférer à une autre qui offre tous ces inconvénients quoique avec un rendement légèrement supérieur, qui ne compensera jamais les variations de vitesses et les décrochages que l'on y rencontre à la moindre surcharge M. Perrine a cité le cas d'un moteur de 300 kilowatts qu'une génératrice de 400 kilowatts ne pouvait faire démarrer. Si les souvenirs de l'orateur sont exacts, la génératrice en question, était à inducteurs saturés, et ne pouvait fournir le courant double que le moteur asynchrone demandait au démarrage, à cause du couple élevé nécessaire au démarrage des moteurs de minoteries. Le moteur en question était d'abord étudié pour des conditions de démarrage non appropriées à ce service ; et un moteur synchrone aurait éprouvé les mêmes difficultés. Du reste, le constructeur qui avait fourni ce moteur a encore employé un moteur asynchrone dans une installation analogue qu'il eut à monter dans la suite. A Buffalo même, on a remplacé récemment des moteurs synchrones par de puissants moteurs asynchrones. Enfin, dit l'orateur, la question est moins théorique qu'expérimentale, et l'expérience de plusieurs années lui permet d'affirmer que le moteur asynchrone donne lieu à moins de troubles, à moins d'arrêts, à moins de complications dans le démarrage et la conduite en service.

En levant la séance, M. Steinmetz se félicite de l'accueil fait par les membres de l'Institut et ses hôtes étrangers à sa communication. — Quant à la communication de M. Rice, il désire attirer l'attention de l'assemblée sur les essais de Kalamazoo aux tensions de 25 000 et 40 000 volts, où l'oscillographe a été la première fois employé, à sa connaissance, dans des conditions de service d'une transmission à voltage aussi élevé.

P.-L. Charpentier.

---

*Le Gérant* : C NAUD.

# TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES [1]

## ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

### Théories et Généralités.



### Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.



[1] Les titres des matières publiées dans la *Littérature des Périodiques et des Brevets* sont suivis des indications (*p*) ou (*b*); les analyses publiées dans la *Bibliographie* sont indiquées par un (B).

## Décharge électrique.



## Oscillations hertziennes.



## Rayons cathodiques, Rayons Rœntgen, Rayons Becquerel, etc.



## Magnétisme.

## Sources d'électricité.



## Électricité atmosphérique et Magnétisme terrestre.



## Electro et Magnéto-optique.



## Électrobiologie.

# APPLICATIONS

## Génération et Transformation de l'énergie électrique.

## Transmission et Distribution.

## Applications mécaniques.



## Traction et Propulsion.

## Télégraphie et Téléphonie.



## Applications thermiques.

## Éclairage électrique.



## Électrochimie et Électrométallurgie.

## MESURES

# DIVERS

## Sociétés savantes, techniques et industrielles.

## Expositions, Concours, Prix, Laboratoires.



## Bibliographie.

## Lois et Jurisprudence.



## Nécrologie.

# TABLE DES NOMS D'AUTEURS

## A



## B

## C

## I



## J



## K



## L

## M

## N



## O



## P

## Q



## R



## S

## T

Tome XXXI — Samedi 5 Avril 1902. — 9e Année — N° 14

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## SOMMAIRE



**Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).**

*M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.*

# NOUVELLES ET ÉCHOS

## TÉLÉPHONIE

***L'utilisation du téléphone dans l'exploitation des chemins de fer.*** — Les commodités de la transmission téléphonique ont fini par la faire utiliser par les Compagnies de chemins de fer, concurremment avec la transmission télégraphique. L'extension de son usage, actuellement très discutée en Angleterre et en Amérique, a donné lieu, au Congrès des chemins de fer de 1900, à des rapports très documentés de MM. Javary, G. Würtzler, H. Cairo, P.-J. Cabral et T. Ireland. Dans un récent article du *Moniteur Industriel*, M. Lavigne, utilisant ces documents, expose comme il suit l'état actuel de la question :

En France, la Compagnie du Nord a commencé par limiter l'usage du téléphone aux lignes à simple voie et à celles à double voie de moyenne importance ; sur celles de plus fort trafic, elle employait l'appareil pour les communications échangées, en cas de détresse ou d'accident en pleine voie, entre les postes de secours et les gares voisines.

La première artère principale sur laquelle elle a tenté l'essai du transmetteur acoustique est celle de Paris-Aulnoye-Feignies-Jeumont, de 250 km de développement. Les autres administrations françaises paraissaient alors hésiter à entrer dans la même voie.

En Belgique, le téléphone n'est utilisé que pour les communications intérieures des gares et celles des gares aux postes voisins (cabines et blocks) ainsi qu'aux haltes subordonnées.

Il va de soi que la nécessité de transcrire le message reçu dans le carnet affecté au procès-verbal téléphonique diminue un peu la rapidité des communications, mais il ne semble pas douteux que la reproduction du langage ordinaire doive être plus rapide que celle du langage conventionnel, alors surtout que la pensée doit suivre le déroulement de la bande télégraphique ou fait un travail d'épellation laborieux.

Mais ce qui est plus important encore qu'une légère différence dans la célérité, c'est qu'en cas d'événement grave, le téléphone n'exige pas la présence d'un professionnel exercé à la transmission et à la réception par appareils télégraphiques ; il suffit que les employés intervenants n'aient pas l'intonation défectueuse, la prononciation mauvaise et l'oreille dure.

Au point de vue de la dépense de premier établissement, il semble que la nécessité, admise en règle générale, de recourir à un circuit métallique complet, c'est-à-dire avec fil de retour, place le télé-

vivant. — 3° Le traducteur, en aucun cas, n'est considéré comme pouvant remplacer l'auteur.

Article 3. — Sera inscrit, sous les conditions précédentes, tout ouvrage de *théorie* ou de *pratique* répondant aux conditions suivantes : 1° *Ouvrage théorique* : La théorie devra être suffisamment complète, et son exposé tel que les conséquences en découlant, auront pu être mises immédiatement en application. — 2° *Ouvrage pratique* : Les procédés, étudiés et décrits, devront avoir produit dans la branche correspondante un perfectionnement important ayant développé cette industrie.

# LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES ET BREVETS

## *Théorie.*

**Interrupteur-turbine ou à jet de mercure,** construit par Reiniger, Gebbert et Schall. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 107, 6 février 1902 ; remarques à ce sujet par H. Boas, p. 209, 6 mars 1902. — Le principe de ces appareils a été décrit dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 12 et 13 où on trouvera en même temps les modèles de l'A. E. G. et de Max Lévy, de Berlin ; dans le premier, c'est le jet de mercure qui reçoit un mouvement de rotation, tandis qu'on fait tourner la couronne dentée dans le second. L'interrupteur de Reiniger, Gebbert et Schall est inspiré de ce dernier ; le mercure est refoulé par une pompe rotative dans un tube muni d'un ajutage par lequel il s'échappe verticalement et va rencontrer un plateau C en relation avec l'une des bornes de la pile, l'autre borne étant connectée au mercure du tube. Le filet liquide ferme donc le circuit. Le dispositif imaginé pour provoquer les interruptions est le suivant. L'arbre de la pompe porte des ailettes qui viennent couper le mercure. On voit de suite que, pour régler la durée et le nombre des interruptions, on dispose : 1° de la largeur des ailettes ; 2° de leur nombre ; 3° de la vitesse de rotation de l'arbre. En outre, et cet artifice différencie complètement cet interrupteur de ceux rappelés plus haut, il est possible de rapprocher ou d'écarter le plateau C des ailettes, la distance de celles-ci à l'ajutage restant constante. Le temps que met le jet à franchir cet intervalle s'ajoute à la durée de l'interruption, ou autrement dit, plus l'écart est grand plus la durée du contact est courte et réciproquement. Ce perfectionnement permet un réglage très précis d'après les inventeurs. B. K.

**Aimantation de l'acier à la température de l'air liquide,** par Trowbridge, *Electrical World*, t. XXXIX, p. 738, 26 avril 1902, d'après *Physical Review*, de mars. — Article dans lequel l'auteur fait connaître les résultats d'expériences de magnétisation de diverses sortes d'acier à la température de l'air liquide. Voici quelques-uns de ces résultats : Une barre d'acier au tungstène ou au charbon prend très sensiblement le même moment magnétique que l'aimantation ait lieu à la température ordinaire ou à celle de l'ébullition de l'air liquide. La diminution d'aimantation éprouvée par une barre aimantée à 185° C. et chauffée à + 20° C. est beaucoup plus grande que celle éprouvée par une barre aimantée à 20° C. et refroidie ensuite à — 185° C. ; dans les deux cas cette diminution est d'ailleurs considérable.

**Sur l'influence du magnétisme terrestre sur la direction des longs fils à plomb,** par F.-W. Mc. Nair, *Electrical World*, t. XXXIX, p. 721-723, 26 avril 1902. — Les déviations anormales du fil à plomb sont souvent observées dans l'établissement des plans des mines ; l'auteur a eu l'occasion d'en observer de très importantes en septembre dernier dans des puits des mines de Tamarak. Il rappelle que ces déviations anormales sont souvent attribuées, à tort, à l'attraction de la masse pesante par les parois des puits ; M. W. Hallock a montré (voir *Ecl. Elect.*, t. XXX, p. CXXII, 1er mars 1902), que lorsqu'on emploie un fil d'acier le magnétisme terrestre intervient dans une large mesure. Mais l'auteur a observé des déviations avec des fils de bronze, il pense que l'origine de ces déviations est plus complexe et qu'en particulier les courants d'air qui se produisent dans les puits, soit spontanément par suite d'une différence de température entre le fond et l'ouverture, soit en raison de la ventilation, doivent avoir également une influence importante. [La différence de température entre les extrémités du fil ne pourrait-elle pas donner lieu à un courant thermo-électrique sur lequel influeraient les courants telluriques ?]

**Recherches sur le rôle des ondes hertziennes en astronomie physique,** par Ch. Nordmann. *Revue générale des Sciences*, t. XIII, p. 379-388. — Intéressant article dans lequel l'auteur développe les considérations

exposées dans une récente note à l'Académie des Sciences analysée ici (t. XXXI, p. 148, 26 avril 1902).

**Equivalent mécanique de la lumière**, par Angstroem. *Electrical World*, t. XXXIX, p. 737, 26 avril 1902, d'après *Phys. Zeit.*, du 15 mars. — Après avoir rappelé brièvement les travaux de Thomson et de Tumlirz (voir *Electrical World*, 20 avril 1901) sur ce sujet, l'auteur décrit des expériences récentes faites par lui sur la lampe Hefner à l'acétate d'amyle. — D'après Tumlirz l'énergie calorifique correspondant à la radiation totale d'une bougie-mètre serait de 0,0000148 calorie-gramme en 1 seconde et la fraction de cette énergie utilisée sous forme lumineuse serait de 0,024; l'auteur estime que le procédé employé par Tumlirz pour mesurer la quantité d'énergie transformée en lumière donne des résultats trop élevés. Pour mesurer l'énergie totale de la radiation, Angstroem se sert d'un « pyrhéliomètre » à compensation; les mesures faites avec cet appareil à des distances de 100 et de 500 cm ont fourni des résultats concordants; la valeur obtenue à une distance de 1 m était de 0,00129 calorie-gramme par minute avec une erreur possible de 3 p. 100 (l'angle solide considéré n'est pas indiqué). Le rapport entre l'énergie lumineuse et l'énergie totale était mesuré comme il suit : le faisceau lumineux d'une lampe Hefner était reçu sur un spectroscope; un écran percé d'une fente arrêtait les radiations non lumineuses; les radiations lumineuses du spectre étaient rassemblées au moyen d'une lentille cylindrique sur un écran; d'autre part, la radiation totale d'une lampe identique était concentrée par une lentille sur ce même écran et on réglait les distances des lampes de façon que l'écran fut également éclairé par les deux lampes; on avait ainsi deux éclairements physiologiquement égaux; en remplaçant l'écran par un bolomètre ou une pile thermo-électrique on déterminait le rapport des énergies des deux éclairements. Ce rapport a été trouvé égal à 0,90 p. 100 avec une erreur possible de 0,04 p. 100. Quant à la quantité d'énergie lumineuse reçue à 1 m sur 1 cm² de surface elle est de 8,1 ergs; l'équivalent mécanique de la bougie-mètre serait donc de 8,1 ergs. — En opérant avec une flamme d'acétylène l'auteur, a trouvé que 5,5 p. 100 de l'énergie totale est transformée en énergie lumineuse, proportion égale à la moitié seulement de celle trouvée antérieurement par Stewart et Hoxie.

### *Génération et Transformation.*

**Destructeurs d'ordures à Glasgow.** *Electrical World*, t. XXXIX, p. 725-728, 26 avril 1902. — L'article donne, avec plusieurs vues photographiques et deux plans, la description d'une usine installée dans la banlieue de Glasgow pour l'utilisation de la combustion des ordures à la production de l'énergie électrique. L'usine contient six destructeurs pouvant brûler chacun 5 tonnes par jour et chauffant trois chaudières; une quatrième chaudière est chauffée au charbon. Ces chaudières alimentent deux groupes générateurs Belliss-Peebles de 75 kilowatts et deux de 150 kilowatts fournissant du courant continu à la tension de 480-520 volts. L'ensemble de l'installation a coûté 8 125 000 fr, dont 182 500 fr pour les destructeurs d'ordures.

**Groupe électrogène Bardon portatif et à pétrole.** *Électricien*, t. XXIII, p. 129-133, 1er mars 1902. — Nous renvoyons à l'article original pour la description de ce groupe fort bien étudié. Voici les relevés d'un essai de dix heures quarante-cinq, auquel il a été soumis : débit, 42 ampères; tension, 149,5 volts; vitesse angulaire moyenne, 960 t : m; travail total, 67,2 kilowatts-heure; dépense totale d'essence, 64 litres; dépense d'essence par kilowatt-heure, 0,95 litre; puissance moyenne du moteur, 10,6 chevaux; consommation d'essence par cheval-heure, 0,56 litre. L'essence coûtant 0,40 fr le litre, la dépense est donc de 0,38 fr par kilowatt-heure ou 0,225 fr par cheval-heure. Ce groupe se construit pour des puissances de 3 à 12 chevaux; il comporte 1, 2 ou 4 cylindres suivant la puissance.

**Génératrice pour traction de 1000 kilowatts de la Union Elektricitæts-Gesellschaft, de Berlin**, par F. Niethammer. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 45, 16 janvier 1902. — Cette génératrice, à enroulement compound, est destinée aux tramways de la municipalité de Sheffield. Elle peut donner de 500 à 525 volts, pour une vitesse angulaire de 90 t : m. Les conditions du marché stipu-

laient que : la température dans aucune des parties de la machine ne devait dépasser de 45° C la température ambiante après dix heures de fonctionnement ; la capacité de surcharge devait être de 25 p. 100 pour une demi-heure, et 40 p. 100 pour un instant; le rendement à pleine charge, 94 p. 100 ; à trois quarts de charge, 93,5 p. 100 ; à demi-charge, 92,5 p. 100. L'auteur donne une description très complète de cette dynamo avec dessins et photographies à l'appui. B. K.

**Sur la commutation**, par Boy de la Tour. *Industrie Électrique*, t. XI, p. 79-83 et 107-112, 25 février et 10 mars 1902. — Après avoir rappelé les travaux antérieurs sur la question, l'auteur montre comment, par des considérations élémentaires, on peut établir des formules finales très simples permettant de déterminer à chaque instant la valeur de l'intensité dans les spires en court-circuit, et à travers les surfaces de contact communes au collecteur et aux frotteurs. Il déduit des formules finales les règles qui lui paraissent permettre de construire à coup sûr des dynamos capables de fonctionner sans étincelles au collecteur.

**Chute de tension dans les alternateurs**, par R. Bauch. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 143, 13 février 1902. — L'auteur répond à l'article de Fischer-Hinnen sur le même sujet analysé dans *L'Eclairage Electrique*, p. 19, 5 avril 1902. D'après lui, la variation de la dispersion du champ avec la charge de la machine n'a pas encore été représentée correctement et il propose un diagramme assez semblable à celui de Heyland relatif au moteur d'induction. On trouvera également deux notes sur le même sujet, l'une émanant de J. Rezelman, l'autre de M. Corsepius et publiées dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 231, 13 mars 1901. La compétence de M. R. Bauch explique l'abondance des arguments qu'il apporte dans cette discussion; les lecteurs se souviennent, en effet, d'une nouvelle méthode proposée par lui pour la « construction des caractéristiques des générateurs de courants continus, alternatifs ou polyphasés », *L'Ecl. Elect.*, p. 219, 9 février 1902. On lui doit également un diagramme pour le calcul de la chute de tension dans les alternateurs. La priorité de ce diagramme lui ayant été contestée, il admet très volontiers (*E. T. Z.*, p. 249, 20 mars 1902) que l'honneur en revient à Niethammer; mais ce diagramme n'est qu'une extension de celui de Rothert, qui n'est lui-même que l'application aux génératrices du diagramme de Kapp relatif aux transformateurs. En dehors de ces questions de paternité, la note contient une critique très serrée et très intéressante des résultats publiés par Rothert sur les alternateurs de l'Exposition. (Grands alternateurs, *L'Ecl. Elect.*, p. 307, 30 nov. 1901.) B. K.

**Réaction d'induit des alternateurs**, par W. Beneke. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 250, 20 mars 1902. — Des discussions récentes ont montré qu'on attribuait une importance trop grande à l'accroissement de dispersion dû à la réaction d'induit. Partant de cette idée, l'auteur se propose de donner un diagramme rendant compte de la chute de tension des alternateurs dans les conditions suivantes : la force électromotrice à circuit ouvert n'est pas sinusoïdale ; ni la résistance R, ni la réactance $2\pi f L$ de l'induit ne sont constantes. Cette dernière dépend à un très haut degré de la saturation des noyaux inducteurs et des dents et varie, durant une période, avec la position des pôles par rapport aux phases de l'induit. La construction habituellement employée suppose, au contraire, la force électromotrice à circuit ouvert de forme sinusoïdale, la résistance et la réactance constantes. B. K.

**Les lignes de déformation élastique dans les alternateurs volants de grand diamètre** par Hans Linsenmann. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 84 et 103, 30 janvier et 6 février 1902. — Etude mathématique sur la

construction des alternateurs qui peut compléter l'article de O. Lasche paru sur le même sujet et publié par *L'Eclairage Electrique*, p. 430 et 461, 22 et 29 mars 1901.
B. K.

**Sur les propriétés des anneaux à collecteur,** par Paul Girault. *Industrie Electrique*, t. XI, p. 125-128, 25 mars 1902. — L'auteur donne une démonstration du fait constaté par M. Latour que l'impédance d'un anneau Gramme parcouru par des courants polyphasés est une fonction de la vitesse de cet anneau; il considère en second lieu le cas des courants alternatifs simples.

**Alternateurs asynchrones auto-excitateurs,** par A. Heyland, *Industrie Electrique*, t. XI, p. 196, 10 mai 1902. — Lettre dans laquelle l'auteur répond à deux points soulevés par une précédente lettre de M. Latour signalée ici. — Suivant ce dernier un alternateur *shunt* n'a jamais été construit; un alternateur série a seulement été réalisé de façon *accidentelle*; l'auteur répond que si l'alternateur shunt n'a pas été construit, il a été *décrit* et que jusqu'ici M. Latour n'a pas fait davantage non plus; que par contre les propriétés des anneaux à collecteur qui en forment la base ont été non seulement décrites, mais encore observées par Görges. — Le second point est relatif à une assertion de M. Latour d'après qui une fraction insignifiante (moins de 1 p. 100) du courant du rotor pourrait seule passer par les connexions entre lames qu'emploie M. Heyland. Celui-ci répond que d'après des résultats d'essais faits tout récemment par la maison Schuckert sur un moteur de 5 chevaux à 6 pôles, 50 périodes, le cosinus du déphasage était de 0,98 de la moitié jusqu'à la pleine charge et que sur un courant total de 80 ampères mesuré dans le rotor il ne passe que 36 ampères par les balais du collecteur. M. Heyland insiste ensuite sur ce que son moteur serait différent de celui de M. Latour et cite à l'appui de cette différence le fait qu'il marche fort bien sans augmentation essentielle de pertes avec une excitation purement monophasée, excitation que M. Heyland préfère d'ailleurs à l'excitation par courants polyphasés, comme n'exigeant que deux balais et un seul circuit. Il rappelle, comme il l'a déjà fait dans ce journal (nº du 22 mars, t. XXX, p. 420), que « le rotor asynchrone complètement fermé sur lui-même est la base principale de son système et la particularité spéciale brevetée est l'arrangement d'un tel rotor avec un collecteur dans lequel on introduit des courants d'excitation alternatifs, indifféremment monophasés ou polyphasés.

**Machines M. Latour et A. Heyland,** par R. V. Picou. *Industrie Electrique*, t. XI, p. 197-199, 10 mai 1902. — Court et intéressant article dans lequel l'auteur « sans avoir la prétention d'émettre un avis sur les questions de priorité ou de communauté », donne le principe de l'une et l'autre machine, « la compréhension individuelle » que chaque inventeur se fait de leur fonctionnement et signale enfin quelques difficultés de construction. — Le principe de la machine Latour, consiste, comme le savent nos lecteurs, à former l'inducteur par une armature de dynamo à courant continu alimentée par des courants polyphasés et tournant dans le sens du champ tournant ainsi créé avec la vitesse même que possède ce champ; à l'extérieur de ce rotor se trouve un stator d'alternateur polyphasé dans lequel le rotor inducteur produit des courants induits de même période que ceux qui servent à l'alimentation de ce rotor, de sorte qu'une fraction de ces courants peuvent servir à cette alimentation et que dès lors la machine devient auto excitatrice; si par suite d'une surcharge la vitesse du rotor vient à diminuer, le stator induira dans le rotor des courants de faible fréquence, pour lesquels l'impédance des circuits du stator sera très petite, qui par suite pourront se fermer par les balais et circuits du stator et qui empêcheront le décrochage de la machine. — Dans la machine Heyland il y a, en outre, des résistances reliant les lames du collecteur de manière à offrir aux courants de glissement, un second chemin que, suivant M. Heyland, ces courants

suivront de préférence à celui que leur offre les bobines du stator (ou le réseau lui-même). A ce propos M. Picou établit que, pour un fonctionnement admissible, les résistances entre lames doivent être assez élevées et que, contrairement à l'opinion émise par M. Heyland, une fraction très faible (moins de un millième) des courants de glissement, traversera ces résistances. — La parenté technique des deux machines étant ainsi démontrée, M. Picou signale, d'après les publications faites par les inventeurs, « les différences de conception qui ont présidé à leur élaboration » : Pour M. Latour, la marche normale est la marche *synchrone*, par suite avec $\cos \varphi = 1$; dès lors, le glissement n'étant qu'accidentel, il n'attache qu'une importance secondaire à la perfection du système transformateur constitué par le rotor et le stator, et il donne à sa machine l'entrefer raisonnable qui semble indispensable dans la construction mécanique des grands alternateurs. Pour M. Heyland, au contraire, la marche normale est la marche asynchrone et les courants induits dans le rotor par le stator, forment la plus grande partie de l'excitation ; dès lors, il est conduit à conserver un entrefer très faible et la condition $\cos \varphi = 1$, n'est qu'approximativement réalisée. Si sa machine peut fonctionner avec des courants alternatifs simples, cela tient à ce que l'un des deux champs tournants, dont la superposition donne le champ alternatif simple, est étouffé par les résistances entre lames qui, là seulement, jouent un rôle mais pourraient être remplacées par tout autre genre d'amortisseur. — Quant aux difficultés de construction, l'auteur en signale deux, communes aux deux machines : Au démarrage, le stator induira dans le rotor des courants dont la tension sera par rapport à celle des courants de démarrage dans la même proportion que les nombres des spires du stator inducteur et du rotor, soit 35 à 50 pour qu'en marche normale le courant d'excitation ne dépasse pas 2 à 3 centièmes du courant total ; dès lors si l'on alimentait à 110 volts, la tension dans le rotor s'élèverait à 3 300 ou 5 000 volts au démarrage. Une seconde difficulté est d'éviter la détérioration des balais qui, dans l'une et l'autre machine, doivent laisser passer non seulement les courants d'excitation, mais encore les courants résultant du glissement.

**Sur les économies qui peuvent être réalisées par la mise hors circuit des transformateurs à vide,** par Ernst Heinrich Geist. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 47, 16 janvier 1902. — Pour empêcher les pertes qu'entraine la marche à vide des transformateurs, on les munit de dispositifs automatiques qui les mettent hors circuit en même temps que les récepteurs qu'ils alimentent. Mais l'économie qui en résulte compense-t-elle les frais d'achat et d'entretien des interrupteurs? L'auteur essaye d'élucider cette question bien souvent déjà discutée. Il arrive aux conclusions suivantes. Considérons un moteur travaillant deux heures par jour et dont le transformateur, par conséquent, marche vingt-deux heures à vide L'interrupteur automatique n'est avantageux que pour les puissances à partir de 8 kilowatts, et l'économie croit proportionnellement à la puissance. Au-dessous de 8 kilowatts, l'installation d'un appareil constitue une perte sèche et une complication inutile. Le tableau suivant met ces résultats en évidence.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Interrupteur pour un transf. de. . . . . | 1 | 3 | 5 | 10 | 20 kw |
| Frais d'achat . . . . | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 fr |
| Intérêts, amortis. entretien annuels . . | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 fr |
| Perte à vide du transf. | 5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 p. 100 |
| Perte en une heure . | 0,05 | 0,12 | 0,175 | 0.3 | 0,5 kw : h. |
| En un an, 22 × 365 = 8 030 heures . . | 401 | 964 | 1405 | 2410 | 4015 kw : h. |
| Economie en comptant le kw : h. à 0,018 fr. | 7,218 | 18 | 26,35 | 45,25 | 75,15 fr |

B. K.

**Redresseur Rouget et Faget.** *Industrie Electrique*, t. XI, p 53-56, 10 février 1902 ; *Electricien*, t. XXIII, p. 209-213, 5 avril 1902. — Cet appareil tient à la fois de la commutatrice et d'une classe particulière de redresseurs dits redresseurs à réaction. Il est constitué par un anneau Gramme A tétrapolaire en série comportant 45 bobines de 10 spires ; ces bobines sont enroulées sur un noyau constitué par des tôles qui portent une série d'encoches dans lesquelles passent les bobines ; un courant alternatif simple est amené en deux points opposés

de cet anneau. Concentriquement à cet anneau et à son intérieur est un noyau de tôles B et, intérieurement encore, un second anneau Gramme C mobile autour de son axe. L'enroulement de ce dernier anneau est relié en trois de ses points à trois bagues montées sur son arbre en même temps qu'un disque portant des balais qui appuient sur le collecteur de l'anneau Gramme extérieur et fixe A. Lorsqu'on lance un courant alternatif dans A par les deux prises de courant fixes et dans C au moyen de deux des bagues, la réaction des deux champs alternatifs fait tourner l'anneau (toutefois, comme le démarrage ne serait pas absolument certain dans ces conditions, un dispositif de démarrage permet d'envoyer en même temps par la troisième bague un courant décalé par rapport au premier de manière à produire un champ tournant). Le champ alternatif créé par le courant lancé dans l'anneau A peut être décomposé en deux champs tournant en sens inverse avec la vitesse $\omega$ et les balais appuyant sur le collecteur de cet anneau recueilleront des courants que l'on peut considérer comme résultant de la superposition de deux courants alternatifs. Si les balais entraînés par C ont une vitesse angulaire $\alpha$, l'un des courants recueillis aura une fréquence proportionnelle à $\omega + \alpha$, l'autre une fréquence proportionnelle à $\omega - \alpha$. Quand l'appareil tournera au synchronisme, ce dernier courant sera pratiquement continu, l'autre sera un courant alternatif de fréquence double de celle du courant d'alimentation. L'ensemble fournira un courant ondulé. — On voit donc que l'appareil n'est pas un véritable redresseur; l'étude, au moyen de l'ondographe, du courant obtenu a montré d'ailleurs que ce courant est fortement ondulé. Ajoutons que les balais tournants utilisés dans cet appareil sont montés suivant le dispositif décrit antérieurement ici (*L'Ecl. Elect.*, t. XXVIII, p. 186, 3 août 1901).

**Survolteurs pour batteries-tampon**, par J. Izart. *Electricien*, t. XXIII, p. 151-153, 8 mars 1902. — Une batterie bien calculée, prévue pour une capacité à dépenser légèrement inférieure à la moyenne du réseau, autrement dit se chargeant plus qu'elle ne se décharge, fonctionne d'elle-même sans secours auxiliaire. Il est cependant nécessaire de pouvoir à volonté la charger à fond, soit pour la désulfater, soit pour tout autre cause, et à cet effet l'on emploie le survolteur ordinaire à excitation shunt qu'un interrupteur permet de mettre en circuit avec la batterie pour la charge de celle-ci. Mais le réglage de la tension sur le réseau par la batterie-tampon n'est satisfaisant que si les variations de charge du réseau sont lentes et si les accumulateurs ont une très faible résistance ne donnant lieu qu'à une faible chute de voltage entre les bornes de la batterie. Quand ces conditions ne sont pas remplies, le survolteur doit lui-même servir à la régulation et doit alors avoir deux enroulements d'excitation agissant en sens inverses sur la valeur du champ du survolteur. Plusieurs dispositifs de montage peuvent alors être utilisés ; l'auteur en décrit trois. Dans l'un, le survolteur est en série avec la génératrice sur le réseau et la batterie est en dérivation sur l'ensemble formé par la génératrice et le survolteur; celui-ci porte un enroulement d'excitation série dont l'effet est une chute de voltage et un second enroulement en dérivation sur la batterie qui produit au contraire une élévation du voltage; l'enroulement en dérivation ayant le plus grand effet quand la charge du réseau est faible, le survolteur augmente la tension et la batterie se charge ; si la charge du réseau devient considérable, l'effet de l'enroulement-série l'emporte, le survolteur agit comme dévolteur et la batterie se décharge. Dans un second dispositif, le survolteur est en série avec la batterie, l'ensemble de ces deux appareils étant en dérivation sur la génératrice; l'enroulement en dérivation est alors connecté aux deux conducteurs alimentant le réseau ; l'enroulement en série est relié par son milieu à l'un des balais du survolteur, de manière que l'une de ses parties $S_1$ soit traversée par le courant total de la génératrice, l'autre $S_2$ par la différence algébrique entre ce courant et celui absorbé par la batterie, c'est-à-dire par le courant du réseau; de la sorte, quand la charge du réseau diminue, l'enroulement en dérivation a un effet prépondérant, les volts aux bornes du survolteur augmentent et la batterie se charge ; mais si le courant de charge devient trop grand la portion $S_1$ de l'enroulement série traversée par ce courant abaisse le voltage et par suite régularise la charge de la batterie; d'autre part, si par suite d'une augmentation de la charge du réseau la batterie débitait trop, ce serait alors l'enroulement $S_2$ qui agirait pour limiter ce débit. Le troisième dispositif de montage ne diffère du précédent qu'en ce que les deux parties $S_1$ et $S_2$ de l'enroulement série sont disposées toutes deux entre l'un des balais du survolteur et le conducteur correspondant du réseau, le pôle positif de la génératrice étant $S_1$ et $S_2$; le réglage s'effectue comme précédemment. En terminant, l'auteur décrit le système de régulation Highfield (voir *L'Ecl. Elect.*, t. XXVIII, p. 107, 20 juillet 1901).

### *Transmission et Distribution.*

**La transmission de l'énergie par courants de haute tension**, par G.-H. Gibson. *Engineering Magazine*, t. XXIII, p, 75-90, avril 1902. — Dans cet article, l'auteur après avoir fait ressortir l'importance de la transmission de l'énergie à grande distance dans le développement industriel d'un pays, décrit sommairement quelques essais des grandes installations de transmission d'énergie actuellement en exploitation. Suivant l'auteur avec une perte de 16 p. 100 dans la ligne, le coût du cuivre est d'environ 100 fr par cheval, chiffre qui permet souvent l'utilisation de l'énergie captée aux chutes d'eau même dans les régions où le charbon est bon marché. Mais, pour ne pas dépasser ce chiffre pour une ligne de 250 km, il faut des tensions de 50 000 à 60 000 volts, valeurs qu'il serait difficile de dépasser en pratique dans l'état actuel de l'électrotechnique. Comme installations, l'auteur cite celle des chutes de Snoqualmie (6 000 kw, 30 000 volts) qui dessert Seattle et Tacona, celles de la Compania Explotadora de Fuerza Hidroelectrica de San Ildefonso qui possède 5 usines génératrices (22 000 volts) dans les

environs de Mexico, celle de la Colorado Electric Power Company (20 000 volts) qui dessert le district minier de Creeple Creek, celles de la Missouri River Power Company, de Montana (50 000 volts), etc.

**Régulateur de tension Thomson-Houston pour feeders de réseaux à courants alternatifs.** *Bulletin Thomsom-Houston*, p. 540, 15 mars 1902. — Entre les deux conducteurs du feeder dont on veut faire varier la tension est interposé le primaire d'un transformateur ; le secondaire de celui-ci est divisé en 10 sections et un certain nombre de ces sections peuvent être mises en série avec l'un des conducteurs du feeder au moyen d'une manette reliée à une extrémité du conducteur et de plots respectivement reliés aux diverses sections de l'enroulement secondaire. La force électromotrice induite dans cet enroulement s'ajoute ou se retranche de celle de l'alternateur et permet de régler la différence de potentiel au départ du feeder. L'appareil constitué par le transformateur et la manette de régulation est très robuste et très facilement manœuvrable. Quand on tourne la manette dans le sens correspondant à une diminution de voltage, les diverses sections de l'enroulement secondaire sont successivement mises hors circuit ; quand toutes sont mises hors circuit, le mouvement de la manette fait fonctionner un commutateur qui inverse le sens du courant dans le circuit primaire et la continuation du mouvement dans le même sens remet successivement en série les sections du secondaire dont la force électromotrice vient alors se retrancher de celle de l'alternateur ; avec 10 sections secondaires, on dispose donc de 20 chutes de voltage.

**Isolant Zühl.** Brevet français 304 580, 16 octobre 1900. — On fait fondre ensemble 2 kg de paraffine, 6 kg de poix et 2,5 kg d'huile de bois de Chine ; on agite et on ajoute 1,1 kg de chlorure de soufre et 100 gr de soufre en poudre ; on chauffe pendant une heure à 160° C. Pour donner de l'élasticité à la masse il est bon d'ajouter un peu de caoutchouc ; pour cela, on verse 3 kg de naphtaline et on ajoute 160 gr de caoutchouc fondu avec 500 gr de naphtaline pure ; on élimine la naphtaline par entraînement par la vapeur d'eau. Le produit obtenu peut servir aux mêmes usages que le caoutchouc et la gutta.

**Vernis isolant, le « Rusolite ».** *Electricien*, t. XXIII, p. 144, 1er mars 1902. — D'après les fabricants, MM. Frischauer et Cie de Vienne, ce vernis serait capable de résister non seulement aux tensions élevées, mais encore à l'action de la chaleur, de l'humidité, des acides, etc. : Il est mauvais conducteur de la chaleur ; il supporte une température de 325° C ; une fois séché il demeure insoluble en présence de tous les agents chimiques, etc. Les essais faits au Musée industriel technologique de Vienne ont démontré qu'une couche de rusolite de 0,006 mm ne fond que sous l'action d'un courant alternatif de 5 300 à 6 200 volts et qu'une feuille de papier enduite du même vernis résiste jusqu'à une tension de 4 000 à 5 100 volts alternatifs.

**Dispositif permettant de faire varier dans de larges limites la vitesse des moteurs à courant continu**, par Albert Hundt. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 235, 20 mars 1902. — Les plus anciens procédés de régulation de la vitesse des moteurs à courant continu consistent à insérer une résistance soit dans le circuit induit, soit dans le circuit inducteur. Récemment, Ziehl a proposé l'emploi d'un enroulement variable disposé sur l'induit et produisant une force contre-électromotrice (*L'Ecl. Elec.*, p. 280, 22 février 1902). L'auteur augmente ou diminue la vitesse de son moteur en augmentant ou diminuant l'entrefer. Par ce procédé, même lorsque la rotation de la partie tournante est la plus grande, on évite les étincelles aux balais, grâce à l'accroissement de l'induction dans l'entrefer ; et ensuite, il permet d'employer concurremment l'une des méthodes rappelées plus haut. On arrive ainsi à réaliser des vitesses variant dans de très larges limites sans que le rendement soit sensiblement altéré. Voici un exemple cité par l'auteur. L'intensité de champ d'un moteur étant 0,4 ampère, l'induit effectue 350 tours à la minute, quand l'entrefer est minimum, et 1 000 tours, quand il est maximum. Si on veut pousser la vitesse à 1 500 tours, il faut abaisser l'intensité du courant dans les bobines inductrices, à 0,28 ampère et ramener l'entrefer à sa valeur minimum. Ce moteur, enroulé pour 220 volts, développe une puissance de 6,5 chevaux entre 320 et 1 600 révolutions par minute.

B. K.

**Electro-aimants**, par F.-R. Dietze. *Élektrotechnische Zeitschrift*, p. 131, 13 février 1902. — Les électro-aimants peuvent être appliqués à la production de mouvements rectilignes ou circulaires. La première catégorie comprend des électro-aimants à noyau et des électro-aimants cuirassés. L'auteur décrit rapidement ou même se contente d'indiquer les plus usités, mais il fait une mention spéciale des appareils A. Guénée susceptibles de fournir des efforts de traction considérables, constants sur toute la longueur de la course qui peut atteindre 30 ou 40 cm. Les électro-aimants pour mouvements circulaires se divisent également en deux classes : électros avec noyaux semblables aux inducteurs d'une dynamo ; l'armature mobile est placée entre les pièces polaires convenablement alésées ; électros avec noyaux et armature mobile munie aussi d'un enroulement. Ces appareils sont surtout construits par Siemens et Halske A.-G. De la comparaison entre les deux espèces d'électro-aimants, il résulte

que les électro-aimants pour mouvements circulaires ont une force d'attraction quatre fois plus grande que les autres. Dans une note parue dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 252, 20 mars 1902, W. Beneke donne quelques détails sur les électro-aimants construits par l'A. E. G. en même temps qu'une formule pour la détermination de l'angle le plus favorable pour les pièces polaires coniques. B. K.

**Palans transbordeurs électriques Averly.** *Revue Industrielle*, t. XXIII, p. 194, 17 mai 1902. — La généralisation des palans électriques a conduit M. Averly à combiner un palan transbordeur utilisant pour sa translation le moteur électrique servant au levage de sa charge; l'article donne la description avec figure de deux modèles de ces palans. L'embrayage du moteur avec la vis sans fin qui commande le mouvement de levage ou avec le galet qui commande le mouvement de translation s'effectue du sol avec une double tirette; une troisième tirette manœuvre la manette du rhéostat de démarrage pour les deux sens de la marche du moteur.

**Système de block pour lignes de chemins de fer à voie unique,** par L. Kohlfürst. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 240, 20 mars 1901. — Le système de block décrit par l'auteur est appliqué sur la ligne Buffalo-Erisee. Sur tout le parcours à peu près la voie est double, sauf en quelques endroits où elle est unique par suite de conditions locales. A chaque extrémité de ces voies uniques, on a installé des haltes sans personnel. Il s'agit donc d'empêcher que plusieurs trains venant dans la même direction, ou en allant en sens contraire ne puissent s'engager simultanément sur cette portion de ligne. La description très complète du block-signal est accompagnée de quatre figures. B. K.

**Installations électriques des usine et mine de la Oakbank Oil Co, en Ecosse.** *Electricien*, t. XXIII, p. 294-296, 10 mai 1902. — L'usine fabrique de l'huile minérale de schiste; les mines en sont éloignées de 3 km. La station génératrice en construction doit comprendre deux groupes électrogènes Westinghouse de 400 chevaux chacun fournissant des courants triphasés à 3 300 volts. Quatre transformateurs de 175 kilowatts abaisseront la tension à 440 volts pour l'alimentation de sept moteurs asynchrones de 10 à 30 chevaux desservant l'usine. Quatre autres transformateurs de 375 kilowatts abaisseront la tension à 330 volts et alimenteront une commutatrice fournissant du courant continu à 500 volts utilisé pour la traction d'un petit chemin de fer reliant les mines à l'usine. Une partie du courant à 3 300 volts sera transmise à une sous-station située à l'entrée des mines et contenant des transformateurs abaissant la tension à 440 volts pour le service mécanique de ces mines.

**L'évolution prochaine des chemins de fer à grande vitesse,** par A. Flamache. *Electricien*, t. XXIII, p. 200-203, 29 mars 1902. — Résumé d'une conférence faite à la Société belge des Ingénieurs et Industriels. — L'auteur, ingénieur en chef des chemins de fer de l'Etat belge et professeur du cours d'exploitation des chemins de fer à l'Université de Gand, examine comment s'effectuera la réalisation du désir du public d'être transporté plus rapidement et à meilleur marché. Après quelques considérations philosophiques sur le rôle de l'ingénieur, il restreint le côté technique de la question à l'étude des modifications à apporter aux voies actuelles de chemins de fer pour permettre l'obtention des vitesses atteignant 200 km : h, des *extra-vitesses* comme il les nomme. Faut-il renoncer, se demande-t-il, à la voie actuelle composée de deux files de rails parallèles ou bien faut-il employer les voies compliquées préconisées par Langen, Behr, etc. ? Il fait d'abord remarquer que renoncer à la voie ordinaire, qui a fait ses preuves et qui depuis soixante-dix ans a été l'objet d'incessants perfectionnements de détails, pour adopter une voie comportant de nombreux assemblages serait s'exposer à des difficultés importantes. Il rappelle à ce propos que la traverse Bernard qui théoriquement paraissait excellente, a dû être abandonnée en pratique : les rivets qui servaient à la relier aux rails ne tardaient pas à jouer sous l'effet des efforts énormes auxquels les rails sont soumis de la part du matériel roulant; on a donc dû revenir aux boulons et même au vieux procédé des coins de bois pour maintenir les rails, car bien que ces systèmes soient inférieurs mécaniquement au rivetage, ils ont sur ce dernier l'énorme avantage de permettre la réfection de la voie disloquée par le passage des trains. Devant ce résultat de l'expérience il est permis de tout craindre des voies nouvellement préconisées où, comme dans le système Langen appliqué sur le chemin de fer Barmen-Elberfeld, tout est assemblage comportant d'innombrables rivets. La même critique s'applique d'ailleurs au système Behr qui a été mis en essai à Tervueren (près de Bruxelles), pendant la dernière Exposition de Bruxelles. Suivant l'auteur, qui a pu suivre ces essais par le détail, leurs résultats sont désastreux : on n'a pas dépassé 102 km : h, dans les essais officiels; M. Behr prétend avoir obtenu 138 km : h, mais ce résultat n'a pas été contrôlé; et si l'on avait réalisé les vitesses promises (200 km : h au minimum) « il n'aurait pas fallu longtemps pour mettre à mal et démolir toute cette chaudronnerie ». A ces résultats l'auteur oppose ceux des essais de Zossen, qui ont montré qu'il est possible d'atteindre des vitesses de 200 km : h avec une voie normale convenablement établie. Aussi sa conclusion est-elle que les voies actuelles permettent la réalisation des grandes vitesses avec un tracteur approprié.

**Emploi des courants triphasés sur les chemins de fer urbains,** par M. Fabre. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 120, 6 février 1902. — Il s'agit d'une simple note inspirée par la récente discussion sur l'équipement électrique du métropolitain de Londres. On sait que l'application des courants triphasés système Ganz, a été rejetée purement et simplement par le parlement anglais, bien que les promoteurs aient démontré que le freinage en cascade permettrait de récupérer environ 9 p. 100 de l'énergie absorbée au démarrage. Or, l'auteur de cette note prétend qu'on est resté bien au-dessous de la vérité

et qu'on pouvait retrouver 66 p. 100 de l'énergie perdue dans les résistances au démarrage. Il démontre, par le calcul, la supériorité des courants triphasés sur le courant continu, en faisant la balance des dépenses et des gains relatifs à chaque système. De sa formule, il résulte que le courant continu entraîne une consommation d'énergie de 36 p. 100 plus grande pour une voie en palier, et que l'écart est encore bien plus considérable pour une voie en rampe. B. K.

**Moteurs à pignon denté pour tramways**, par Siebert, *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 187, 6 mars 1901. — L'auteur expose quelques perfectionnements qu'il a apportés dans la construction des moteurs pour traction et qui sont surtout d'ordre mécaniques, à savoir : mode de suspension, interchangeabilité des pièces, isolement, etc. Pour ce dernier, il emploie de préférence cette substance désignée sous le nom de presspahn et le coton ; en leur substituant le mica et l'amiante, la température du moteur peut s'élever jusqu'à 100° C sans qu'il cesse de de satisfaire aux prescriptions relatives aux essais des dynamos et des transformateurs. B. K.

### *Télégraphie et Téléphonie*

**Télégraphe imprimant Steljes.** *Electrical Review*, Londres, p. 627, 11 avril 1902. — Le transmetteur est constitué par un cadran sur la périphérie duquel sont inscrits les divers signes de l'alphabet et de la ponctuation ; une manivelle amène l'index successivement devant le signe que l'on veut transmettre. Le récepteur a l'aspect extérieur d'un récepteur Morse ; une roue des types vient imprimer le signe transmis. Un appareil analogue avait été imaginé dès 1871 par Wheatstone et Stroh, mais il n'avait pas les qualités mécaniques qui ont permis à l'appareil Steljes de se répandre en Angleterre. L'appareil peut être employé sans inconvénient sur les réseaux téléphoniques tout en permettant la transmission de la parole sur la ligne utilisée ; des essais très concluants ont été faits dans ce sens entre Londres et Manchester et entre Londres et Glasgow.

**Localisation des défauts dans les câbles sous-marins.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 10 2, janvier 1902. — Quand on a à rechercher un défaut sur un câble sous-marin, il arrive assez fréquemment qu'on ne dispose que d'un seul conducteur. La méthode de la boucle n'est pas applicable dans ce cas. L'auteur décrit deux méthodes qui reposent, l'une sur la mesure de la capacité du câble, l'autre sur deux mesures de résistances effectuées simultanément aux deux extrémités du câble défectueux. B. K.

**Navire câblier anglais, la « Colonia ».** *Génie Civil*, t. XLI, p. 47, 17 mai 1902, d'après *Dinglers Journal* du 26 avril. — Ce navire, lancé le 14 février dernier des chantiers de Newcastle-on-Tyne, est destiné à la pose du câble transpacifique anglais. C'est le plus grand des navires câbliers : sa longueur est de 152 m, sa largeur de 17 m ; il peut porter 10 000 tonnes soit environ 5550 km de câbles ; le navire câblier allemand le « Von Podbielski » construit il y a deux ans n'en peut transporter que 1 100 km. La « Colonia » est à double hélice et sa vitesse peut atteindre 12 nœuds. Son début sera la pose du premier tronçon du câble transpacifique reliant Vancouver aux îles Fanning ; ce tronçon ayant 6 606 km de longueur, on adjoindra un navire auxiliaire à la « Colonia » pour son transport.

**Appareils téléphoniques Berliner**, par J.-A. Montpellier. *Electricien*, t. XXIII, p. 289-291 et 310-312, 10 et 17 mai 1902. — Description illustrée de vues et de schémas de connexion des divers modèles d'appareils téléphoniques de ce système. Dans tous ces modèles, qui sont admis sur le réseau de l'Etat français, le transmetteur,

dit transmetteur universel, est un microphone à granules de charbon,

**Canalisations souterraines des téléphones de l'administration impériale allemande**, par Zappe. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 325, 10 avril 1902. — Longue communication à la Société des électriciens allemands. L'orateur décrit en détail tous les procédés employés par l'administration pour la pose des câbles téléphoniques, et insiste tout particulièrement sur certains perfectionnements qui sont appelés à rendre de grands services. L'article est illustré de 26 dessins ou photographies. B. K.

## *Applications thermiques*

**Four électrique Becker pour la fabrication du verre.** *Génie Civil*, t. XL, p. 401, 12 avril 1902, d'après *Elektrotechnische Zeitschrift*. — Quelques verreries d'Allemagne et notamment de Cologne ont essayé ce four qui diffère un peu du four Vœlker décrit antérieurement ici (*Ecl. Elect.*, t. XXVIII, p. 255, 17 août 1901). Les matières premières, broyées et mélangées, sont jetées dans une trémie; elles s'échappent par deux conduits qui les amènent dans une chambre où deux arcs électriques leur font subir un commencement de fusion; la fusion est achevée par un troisième arc et la matière fondue se rassemble dans un creuset où se séparent les gaz; un trop plein fait écouler le verre prêt à être travaillé dans une seconde cuvette; le verre est maintenu en fusion par des combustibles gazeux. Il résulterait des essais que ce procédé de fusion diminuerait de moitié la consommation de combustible exigée par le chauffage à feu direct au moyen du charbon; la dépense serait à peu près la même que lorsqu'on emploie des combustibles gazeux pour la fusion, mais on aurait alors l'avantage d'obtenir une fusion plus rapide avec des appareils moins encombrants.

**Four électrique M. R. Conley.** Brevet américain, n° 697810 déposé le 5 décembre 1901, accordé le 15 avril 1902. — La maçonnerie donne au four la forme intérieure d'un cône renversé au-dessous duquel se trouve une chambre sensiblement sphérique. Dans la partie rétrécie qui sépare les deux chambres sont disposés quatre blocs de charbon graphitique entre lesquels on fait passer deux courants intenses ; vers le fond de la chambre inférieure se trouvent quatre autres blocs de graphite. La matière restée dans la chambre supérieure est fondue au moment de son passage à l'étranglement qui relie les deux chambres ; la fusion est achevée dans la chambre inférieure.

**Procédé électrothermique Thomson pour la fabrication des tubes métalliques.** *Génie Civil*, t. XLI, p. 45, 17 mai 1902. — Une bande de cuivre passe entre des rouleaux et des mandrins qui lui donnent la forme d'un tube fendu suivant une génératrice. Dans cette fente se déroule un fil de même métal que le tube. Un galet, relié à l'un des pôles d'une dynamo appuie sur le fil tandis que deux rouleaux concaves reliés à l'autre pôle appuient sur les parois du tube de manière à fermer la fente. Sous l'action du courant le fil fond et soude ensemble les deux lèvres de la fente.

## *Éclairage.*

**Lampes à arc de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques**, par A. Bainville. *Electricien*, t. XXIII, p. 197-199 et 292-293, 29 mars et 10 mai 1902. — Ces lampes, du système Siemens et Halske, sont à arc nu ou arc enfermé. Les lampes à arc nu sont différentielles. Dans celles à courant continu se trouve, immédiatement au-dessus de l'arc, une pièce de fer émaillée dite *économiseur* ; cette pièce qui a la forme d'un tronc de cône est fixée aux tiges de guidage ; son rôle est le suivant : les charbons, qui sont placés à l'entrée du cône, brûlent dans une atmosphère confinée dans laquelle l'oxygène devient de plus en plus rare : d'où un ralentissement de la combustion et une économie de charbons que les constructeurs estiment à 40 p. 100. Dans les lampes à courants alternatifs l'économiseur est remplacé par un réflecteur qui renvoie vers le bas la lumière émise par le charbon inférieur. Le second article donne la description de la lampe à arc enfermé.

**La lampe à arc Regina**, par B. Donath. *Elektrotechnische Zeitschrift*, p. 220, 13 mars 1901. — C'est une lampe à arc en vase clos dont la courbe photométrique a été établie par le professeur Wedding. Il en résulte que la consommation spécifique est de 1,07 watt par bougie, tandis que pour des lampes similaires, elle est d'au moins 2,5 watts. L'auteur en a étudié deux modèles, l'un de 110 volts et 6 ampères, l'autre 220 volts et 3 ampères. Ses résultats concordent parfaitement avec ceux rappelés plus haut. Mais la supériorité de la lampe Regina se manifeste surtout par les propriétés chimiques de la lumière qu'elle émet. Une lampe de 220 volts 3 ampères placée à 40 cm de l'actinomètre indique la même actinité que la lumière solaire au mois de juillet à midi. Le tableau suivant résume ces essais :

| Source lumineuse. | Actinité. |
|---|---|
| Lampe Regina 220 v. 3 A. | 1 |
| Lampe Regina 110 v. 6 A. | 1/2,6 |
| Lampe à air libre 55 v. 12 A. | 1/4,4 |
| Fenêtre d'atelier (16 janvier, midi, ciel bleu) | 1/5,4 |
| Fenêtre d'atelier (16 janvier, midi, ciel couvert) | 1/9,1 |
| Lampe à air libre 55 v. 6 A. | 1/9 |

Une photographie du spectre fourni par la lampe Regina donne trois bandes extraordinairement brillantes et actiniques dans le bleu, le violet et l'ultra violet. L'auteur a constaté que ces deux propriétés sont intimement liées à la température de l'enceinte de l'arc et croissent avec elle. B. K.

**Lampe a arc « Flame ».** *Electrical Review*, Londres, t. L, p. 597, 11 avril 1902. — Lampe à arc différentielle à charbons imprégnés de sels métalliques construite par la Union Electric Company. de Londres. Un peu au-dessus de l'arc est placée une coupe en terre réfractaire à travers laquelle passe le charbon supérieure ; la partie creuse de

la coupe est dirigée vers le bas ; cette coupe est portée à une très haute température et rayonne une notable quantité de lumière en même temps qu'elle réfléchit vers le bas la plus grande partie de la lumière de l'arc lui-même. Une autre particularité de la lampe est la grande longueur de l'arc, d'où le nom de lampe à « flamme », et le fait qu'un cratère se forme aussi bien au charbon négatif qu'au positif d'où l'avantage de pouvoir renverser le sens du courant dans la canalisation sans influencer l'éclairement produit par la lampe dans une direction donnée. Les chiffres suivants donnent quelques résultats d'essais effectués sur cette lampe, une lampe à arc ordinaire et une lampe à arc enfermé, l'intensité lumineuse étant l'intensité moyenne hémisphérique inférieure :

| LAMPE FLAMME | | LAMPE A ARC LIBRE | | LAMPE A ARC ENFERMÉ | |
|---|---|---|---|---|---|
| Watts | Bougies | Watts | Bougies | Watts | Bougies |
| 300 | 1 320 | 287 | 610 | 300 | 330 |
| 407 | 1 700 | 400 | 895 | 400 | 520 |
| 515 | 2 125 | 503 | 1 365 | 510 | 710 |

L'ensemble des essais a montré que pour une consommation de 300 watts l'intensité de la lampe « Flamme » est quadruple de celle de la lampe à arc enfermé ; elle est un peu plus du triple pour 400 watts et le triple pour 500 watts environ.

**Fanal électrique de locomotive des Chicago, Milwankee and Saint-Paul Railways.** *Electricien*, t., XXIII, p. 248-250, 19 avril 1902. — De nombreux dispositifs ont été imaginés en vue de remplacer les lanternes ordinaires des locomotives par un puissant projecteur éclairant la voie sur une grande largeur. Celui qu'ont essayé les chemins de fer de Chicago, Milwankee et Saint-Paul paraît satisfaire aux multiples exigences de la pratique. Le projecteur et le groupe électrogène qui l'alimente forment un ensemble compact supporté par une même plaque de fondation. Le groupe électrogène comprend une petite turbine de construction fort simple alimentée par la vapeur de la locomotive et une petite dynamo fournissant un courant de 30 à 33 ampères sous 35 volts. La lampe à arc du fanal comporte un seul charbon positif ; l'électrode négative se compose d'une roulette munie d'un certain nombre de contacts en cuivre ; le foyer d'une intensité lumineuse d'environ 6 000 bougies, est constamment maintenu au même point. Le faisceau lumineux projeté sur la voie éclaire celle-ci suffisamment pour qu'on puisse distinguer les objets à plus de 800 m. Au moment du croisement de deux trains, les mécaniciens pour ne pas s'aveugler mutuellement, abaissent un verre dépoli devant chaque fanal. En avant du fanal on peut également abaisser un miroir incliné à 45° qui renvoie verticalement une partie de la lumière ; ce faisceau lumineux vertical visible à plus de 16 km en dépit des courbes ou des collines, permet l'échange de signaux.

**Essais de la lampe Nernst** (fin), par R.-P. Hulse. *The Electrician*, t. XLVIII, p. 973-977, 11 avril 1902. — L'auteur rend compte des essais faits sur cette lampe à voltage trop fort, à voltage trop faible, à courant constant, à puissance constante, etc. Il donne les courbes figuratives. D'après les résultats obtenus, la lampe Nernst donne en moyenne, pendant 400 heures, au moins 0,48 bougie par watt dépensé, au lieu de 0,28 bougie que donnent les lampes à incandescence ordinaires. En tenant compte de la durée plus longue de celles-ci, le renouvellement des lampes reviendrait 3 fois plus cher avec la lampe Nernst. Elle est recommandable, conclut l'auteur, dans les cas où l'on a besoin d'un éclairage puissant et où l'énergie n'est pas chère. P. L.

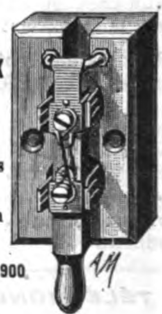
**Régulateur R. Fleming pour circuits de lampes a arc.** Brevet américain, n° 696 427, déposé le 21 novembre 1901, accordé le 1er avril 1902. — Ce brevet décrit un moyen de régler les circuits alternatifs de lampes à arc à intensité constante. On a constaté que dans ces circuits la forme de la courbe du courant varie avec la charge. Ce changement, ainsi que celui de la fréquence, affecte les lampes du réseau. L'appareil décrit est sensible à ces deux variations ; on peut donc, en réglant la distribution de manière à maintenir une déviation donnée de l'ins-











trument indicateur, maintenir sur les arcs le voltage convenable. P. L.

**Système A. Oxley pour allumer et éteindre à moment déterminé les lampes a arc a intensité constante.** Brevet américain, n° 697 007, déposé le 25 août 1900, accordé le 8 avril 1902. — On munit les lampes à arc d'un mécanisme électromagnétique qui entre en action quand un des fils de ligne est à la terre. Un électro-aimant du mécanisme a l'un de ses côtés à la terre, et quand un des fils de ligne est à la terre, un courant passe dans l'électro, faisant ainsi jouer le mécanisme qui met la lampe hors circuit. P. L.

**Dispositif limitateur de courant R. J. Patterson pour un circuit de lampes à incandescence.** Brevet américain, n° 689 830, déposé le 29 décembre 1900, accordé le 24 décembre 1901. — Dans certaines installations de distribution d'énergie électrique pour l'éclairage, les abonnés doivent signer avec la compagnie qui leur fournit le courant, un contrat fixant le montant de leur abonnement pour un nombre déterminé de lampes d'une intensité donnée, quelle que soit d'ailleurs la durée quotidienne de l'éclairage. Cet abonnement à forfait supprime, pour la compagnie, les frais d'achat et d'installation des compteurs, et, pour l'abonné, les frais de location de cet appareil; mais il importe alors d'empêcher le consommateur d'utiliser, soit un nombre de lampes supérieur à celui prévu dans son contrat, soit des lampes d'intensité plus élevée que celle prévue. On a imaginé dans ce but divers dispositifs parmi lesquels il convient de signaler un interrupteur limitateur (à maximum) qui ouvre automatiquement le circuit dès que le nombre de lampes à alimenter dépasse celui fixé d'avance. Mais cet appareil présente un inconvénient, c'est que, s'il arrive au consommateur d'allumer par inadvertance simultanément plus de lampes qu'il ne doit, l'interrupteur déclenche, toutes les lampes s'éteignent, et le courant reste interrompu jusqu'à ce qu'un employé de la compagnie vienne réenclencher l'interrupteur qui doit être rendu inaccessible pour l'abonné. Parmi les dispositifs donnant moins lieu à une objection du même genre, on en a proposé quelques-uns qui, au lieu de couper entièrement le circuit d'alimentation, y insèrent seulement une résistance, de manière à affaiblir l'intensité lumineuse des lampes. L'appareil que nous décrivons breveté par Ralph. J. Patterson, permet d'atteindre convenablement le but poursuivi. Il se compose de deux bobines que nous appellerons A, A' montées chacune en série avec un interrupteur à charbon C et C'; et les deux circuits ainsi constitués sont reliés en dérivation aux bornes B, B'. L'appareil est monté en série sur l'un des fils amenant le courant au consommateur, et il fonctionne de la manière suivante : aussi longtemps que l'intensité du courant demandé reste inférieure à la limite fixée, d'après laquelle l'appareil a été réglé, le courant traverse la bobine A, l'interrupteur C' correspond à la seconde bobine, et se rend à la borne de sortie B'. Si l'appel de courant est assez grand pour que l'intensité dépasse la valeur fixée, la bobine A, surexcitée, attire un noyau de fer doux ; le fléau auquel il est fixé bascule, et l'interrupteur C se ferme. Le courant passe alors de la borne B à la bobine A' en traversant l'interrupteur C ; la bobine A' excitée, attire son noyau de fer doux ; le fléau auquel ce dernier est fixé bascule, et les deux contacts de l'interrupteur C' se séparent. A ce moment, l'électro A cesse d'être excité ; son noyau remonte sous l'action combinée d'un ressort et d'un contrepoids et les deux contacts de C s'écartent ; la totalité du courant les traverse, et fait jaillir entre eux un arc dont la résistance considérable diminue l'intensité lumineuse des lampes à incandescence en circuit. Cet arc étant en série avec l'électro A', affaiblit la valeur du courant d'excitation de cet électro suffisamment pour que son noyau cesse d'être aspiré. Alors, sous l'action du contrepoids, les deux charbons de C' reviennent en contact et l'électro A se trouve de nouveau excité. Les charbons de C se rapprochent à nouveau l'arc s'éteint, et le cycle des mêmes phénomènes se reproduit aussi longtemps que l'intenisté du courant est au-dessous de sa valeur normale. G. Roesch.

# BIBLIOGRAPHIE

***Les Générateurs d'électricité à l'Exposition Universelle***, par **C.-F. Guilbert**. Un vol. gr. in-8°, 766 pages, 615 gravures et plans dont 118 planches hors texte et 20 tableaux hors texte. *C. Naud*, éditeur. Prix, broché, 30 fr.

L'ouvrage de M. Guilbert est en partie la reproduction d'articles descriptifs publiés dans ce journal, le cadre en a été étendu ; il n'y a pas moins de 91 appareils décrits, dont 37 à courant continu. Un certain nombre d'erreurs, impossibles à éviter dans la rédaction et la correction hâtives d'un article, ont disparu. L'obligeance de MM. Blondel et Dobkewitch a permis d'insérer quelques courbes de tension aux bornes, relevées à l'aide de l'oscillographe sur des alternateurs décrits dans l'ouvrage : la comparaison de ces courbes et des descriptions est pleine d'enseignements pour le lecteur, enseignements qu'il devra toutefois en tirer lui-même, M. Guilbert s'étant beaucoup trop modestement borné au rôle de compilateur.

Il a dû en effet laisser la parole et la responsabilité des chiffres aux constructeurs qui ont bien voulu les fournir, les uns généreusement, les autres avec quelque parcimonie, particulièrement en ce qui concerne le chapitre des résultats d'essais ; on aurait préféré moins de résultats calculés et un peu plus de résultats observés. Ce qui incombait surtout à l'auteur, c'est la mise en ordre, la classification de documents si nombreux ; bien que certains types, tels que les Ferranti, les Mordey, le type de Lauffen aient disparu et que la construction moderne tende à s'uniformiser, on trouve encore des induits mobiles et d'autres fixes, des induits lisses, d'autres à dents, d'autres à trous, des pôles pleins ou feuilletés, ou dont les épanouissements polaires seuls sont feuilletés ; ces pôles peuvent être alternés ou tous de même nom ; il peut ne pas exister de saillies polaires, comme dans les générateurs asynchrones ; enfin le nombre des phases est variable. Toutes ces variétés sont classées en groupes bien délimités, une courte introduction en tête du chapitre destiné à un groupe, rappelle les avantages et les inconvénients inhérents à chaque genre de construction. Tout est clair, bien ordonné et chaque type facile à retrouver, aussi bien dans le corps de l'ouvrage que dans les tableaux résumant les données générales de la construction.

Pour les types tout à fait nouveaux d'alternateurs compoundés de MM. Hutin et Leblanc, de M. Boucherot, M. Guilbert a dérogé à la règle qu'il a suivie dans le reste de son ouvrage, et donné avec sa limpidité habituelle, les explications nécessaires à l'intelligence du fonctionnement de ces appareils intéressants, qui voyaient le jour pour la première fois à l'Exposition.

Tel qu'il est, le livre de M. Guilbert donne, dans son ensemble, l'idée la plus exacte que l'on puisse se faire de l'état de la construction électrique, alternateurs, commutatrices et dynamos, à l'ouverture du xx^e siècle ; bien des lecteurs, après l'avoir parcouru, se reporteront à vingt-cinq ans en arrière, et se demanderont quelles limites on pourrait fixer au développement de cette industrie dans le prochain quart de siècle.

J'ajouterai que bien que le corps de l'ouvrage soit écrit en français, et en excellent français, l'auteur a eu la coquetterie d'y ajouter une préface en anglais et en allemand, et de donner des légendes trilingues (français, anglais, allemand) à toutes ses planches et à ses tableaux, de sorte que la moëlle du livre est directement accessible à celui qui possède une des trois langues.

A. Potier

***Recherches sur les forces électromotrices d'aimantation***, par **René Paillot**. Un vol. grand in-8°, 91 pages. Thèse soutenue à la Faculté des sciences de Lille pour l'obtention du grade de docteur ès sciences physiques.

Dans cette thèse l'auteur décrit les dispositifs qu'il a employés dans l'étude de la force électromotrice d'aimantation dans les champs puissants et de la variation de cette force électromotrice avec la température. Les résultats de ces recherches ont déjà été signalés dans *L'Eclairage Electrique*, d'après les communications faites par l'auteur à l'Académie des sciences.

Tome XXXI | Samedi 7 Juin 1902. | 9e Année — N° 23

# L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



## SOMMAIRE

Pages.



**Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).**

*M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.*

# NOUVELLES ET ÉCHOS

***Office de renseignements techniques.*** — L'Association amicale des Ingénieurs Electriciens vient d'organiser, à l'instigation de M. E. Sartiaux, un office de renseignements techniques dont le but est défini comme il suit dans le premier *Bulletin* de cet office :

« Cet office est destiné à fournir aux savants, aux industriels et aux ingénieurs que les questions d'électricité intéressent, les indications sur tout ce qui se fait ou se publie tant en France qu'à l'étranger, relativement aux applications de l'Electricité dans toutes ses branches et celles qui s'y rattachent, et à faire connaître les brevets pris et la liste des ouvrages publiés sur les mêmes matières dans les différents pays.

» Une feuille d'information mensuelle paraissant le 16 de chaque mois, donne le titre et un résumé succinct des articles techniques parus dans les publications périodiques françaises et étrangères, une courte analyse des brevets, et le titre des ouvrages parus.

» Pour recevoir régulièrement cette feuille, il suffit de se faire inscrire à l'Office, 11, rue Saint-Lazare. L'abonnement est de 8 fr. par an pour la France et de 10 fr. pour l'étranger.

» Les textes et traductions intégrales des articles ou des brevets qui y sont mentionnés sont copiés sur papier du format 21/31 de 30 lignes par page avec 0,05 cm. de marge, contenant également, si elle est demandée, la reproduction des schémas et figures.

» Le tarif de ces copies, établi en vue de permettre à l'Office de récupérer ses frais, est le suivant :

| | avec figures | sans figures |
|---|---|---|
| 1re page. . . . . | 5 fr. la page | 4 fr. la page |
| 2e page. . . . . | 4.50 » | 3.50 » |
| 3e page. . . . . | 3.50 » | 2.50 » |
| 4e page. . . . . | 2.50 » | 2 » » |

» Les demi-pages sont comptées à moitié des prix ci-dessus.

» Le texte des articles en langue française, est procuré au prix coûtant, plus les frais de recherches et d'envoi.

» Les autres renseignements sont fournis gratuitement, à moins que leurs recherches ne nécessitent quelques frais, dont l'Office demande le remboursement. »

Ajoutons que MM. Loppé et Vigneron, ingénieurs conseils, ont bien voulu se mettre à la tête de ce service de renseignements, secondés par M. Labrouste, jeune ingénieur sorti de l'Ecole supérieure d'Electricité ; c'est dire que toute question posée sera examinée et résolue par des ingénieurs compétents

Si nous en jugeons par le nombre et l'intérêt des renseignements qui nous sont journellement demandés, cet Office rendra de grands services à l'industrie électrique et nous engageons vivement nos lecteurs de s'y adresser en se recommandant du journal ; ils recevront plus rapidement et plus complètement qu'en s'adressant à nous les renseignements qu'ils désirent.

***Union internationale permanente de tramways.*** (*12e assemblée générale, Londres*). — La dernière assemblée générale de cette association a eu lieu à Paris, en 1900, pendant l'Exposition universelle; la prochaine se tiendra à Londres du lundi 30 juin au vendredi 4 juillet.

Les séances auront lieu à Agricultural Hall, où notre confrère *Tramway and Railway World* a organisé une Exposition spéciale à l'Industrie des tramways et Chemins de fer vicinaux.

La séance officielle d'inauguration se tiendra le lundi 30 juin à 1 heure ; un lunch sera ensuite offert aux congressistes par le Comité de l'Exposition ; le soir les congressistes assisteront à une soirée intime offerte par l'Union permanente des Tramways et l'Institution of Mechanical Engineers dans les nouvelles et magnifiques salles de cette dernière société.

Dans la séance du mardi 1er juillet (9 h. 1/2 du matin), seront discutées, après la nomination du Bureau, quatre questions techniques : *Correspondances*, rapporteur M. Lavalard, de Paris ; *Ecartement des voies*, rapporteur M. de Burlet, de Bruxelles ; *Freins*, rapporteur M. Poetz, de Hambourg ; *Appréciation de la puissance des moteurs et dynamos génératrices*, rapporteur M. G. Rasch, d'Aix-la-Chapelle. Le soir les congressistes sont invités par l'Institution of Electrical Engineers.

Le mercredi 2 juillet, discussion de quatre autres questions techniques : *Redevances*, par M. A. Janssen, de Bruxelles ; *Législation des tramways et chemins de fer économiques*, rapporteur R.-H. Schatter, de Londres ; *Dépôts de voitures*, rapporteur M. Trautweiler, de Strasbourg ; *Système de traction*, par M. Ziffer, de Vienne.

Jeudi 3 juillet, continuation des discussions de : *Utilisation du matériel*, rapporteur M. J.-H. Neiszen, d'Amsterdam ; *Usines centrales*, rapporteur M. Ch. Thonet, de Liège ; *Coût de l'énergie électrique*, rapporteur M. Ch. Thonet.

SKOPEC et ONDRA. 307 594, B F, 12 janvier 1901. — Dispositif préventif de la rupture et de la chute des fils conducteurs électriques aériens.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CABLES ÉLECTRIQUES SYSTÈME BERTHOUD, BOREL et Cie. 308 088, B F, 8 février 1901. — Nouveaux câbles électriques à deux ou trois conducteurs torsadés.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES CABLES ÉLECTRIQUES. 309 263, B F, 21 mars 1901. — Nouveaux conducteurs pour câbles électriques souterrains ou autres destinés à transporter des courants électriques de hautes tensions.

SPEER et SWEET. 309 784, B F, 9 avril 1901. — Perfectionnements aux conduites isolantes à l'épreuve du feu.

TRÉMAIN. 307 203, B F, 18 janvier 1901. — Perfectionnements dans la fabrication des câbles électriques.

TIGRE. 311 346, B F, 31 mai 1901. — Conducteur électrique.

WITZENMANN. 306 047, B F, 6 décembre 1900. — Conducteur électrique composé d'un câble conducteur entouré d'une enveloppe en plusieurs couches alternatives de matière isolante et de matière conductrice.

WOODS. 312 289, B F, 1er juillet 1901. — Méthode d'isolation des conducteurs électriques.

COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ DE CREIL (ÉTABLISSEMENTS DAYDÉ ET PILLÉ). 311 336, 30 mai 1901. — Boite de jonction pour installations à courants intenses.

Elektrizitaets, A.-G. (anciennement Schuckert et C^ie^). 124734, D R P, 2 décembre 1900. — Boîte de jonction pour conducteurs électriques de grande intensité.

Robertson (M.). 691 874, U S A P, 21 novembre 1901. — Boîte pour prise de courant extérieure.

Suddeutsche Kabelwerke, System Berthoud-Borel. 120 401, D R P, 29 août 1900. — Boîte de fonction pour câble arrivant d'en bas.

Holzmann. 306 198, B F, 12 décembre 1900. — Assemblage ou raccord électrique de conducteurs séparés par des joints à dilatation.

Fredriksson (J.). 117 872, D R P, 20 septembre 1899. — Dispositif de croisement pour conducteurs à potentiels différents.

Litz. 306 396, B F, 19 décembre 1900. — Crampon d'attache pour fils électriques.

Allemann (Th.). 120 400, D R P, 10 janvier 1901. — Isolateur de sûreté pour conduite aérienne afin de supprimer le courant à la rupture du fil.

Basanta. 309 757, B F, 6 avril 1901. — Appareil spécial destiné à être placé à la tête des isolateurs ou corps diélectriques, dans le but d'obtenir pour les conducteurs électriques une tension facile, la fixation sur les isolateurs sans avoir besoin d'attaches et la jonction d'un conducteur avec l'autre sans joint ni soudure en assurant toujours le passage du fluide.

Chapman. 310 062, B F, 18 avril 1901. — Perfectionnements apportés aux isolateurs.

Harloe. 307 507, B F, 26 janvier 1901. — Perfectionnements aux isolateurs pour fils conducteurs électriques.

Moody (W.-S.). 691 793, U S A P, 28 janvier 1899. — Dispositif pour maintenir secs les isolateurs.

Renault. 306 571, B F, 24 décembre 1900. — Perfection-

nements aux isolateurs servant à porter des lignes télégraphiques ou autres fils conducteurs d'électricité.

Rentzsch (H.). 121 168, D R P, 30 septembre 1900. — Poulies isolantes pour fixer directement les conducteurs électriques aux toits et aux murs.

Rocca (P. della), Rauzzi (F.) et Henry (A.). 124 128, D R P, 21 juin 1900. — Isolateur pour conducteurs électriques servant à la protection des trains.

Grammont. 310 057, B F, 17 avril 1901. — Nouveau support isolant pour la construction d'appareils électriques.

Sansoube et Millet. 307 517, B F, 26 janvier 1901. — Genre de moulures pour canalisations électriques.

Waldmann (J.). 118 902, D R P, 29 septembre 1899. — Tubes pour l'entrée des fils électriques.

Harburger Gummikamm C°. 117 766, D R P, 8 novembre 1899. — Emboîtement isolant, imperméable à l'eau et à l'air pour tubes isolants formés de métal avec recouvrement de caoutchouc.

Callaway (E.-H.). 118 108, D R P, 7 février 1899. — Mode de liaison pour conduites isolantes et protectrices.

Maschinen-Fabrik Œrlikon. 118 516, D R P. — Support de conducteurs électriques à isolement multiple.

Leonard (H.-W.). 691 949, U S A P, 10 janvier 1901. — Support isolant pour conducteurs et résistances.

Elias (R.-L.). 691 871, U S A P, 11 octobre 1900. — Matière isolante.

Korner. 308 231, B F, 18 février 1901. — Matière isolante pour applications électrotechniques et autres.

Hack. 312 258, B F, 29 juin 1901. — Production d'un mica artificiel résistant à la chaleur.

**Commutateurs**. — Adams. 310 793, B F, 13 mai 1901. — Système perfectionné de commutateur automatique.

Baldensperger et Gleizes. 310 519, B F, 3 mai 1901. — Commutateur à combinaison.

Batault (E.). 691 739, USAP, 9 août 1900. — Commutateur.

Compagnie générale de constructions électriques. 311 409, B F, 1er juin 1901. — Commutateur électrique.

Cook et Chypperfield. 309 906, BF, 13 avril 1901. — Système perfectionné de commutateur électrique.

Dardeau (L.). 123 970, D R P, 23 avril 1899. — Commutateur automatique pour plusieurs appareils télégraphiques ou téléphoniques placés sur la même conduite.

E.-A.-G., anciennement Schuckert et Cie. 118 936, DRP, 26 janvier 1900. — Disjoncteur automatique à maxima.

Ely. 306 845, B F, 8 janvier 1901. — Perfectionnements dans les commutateurs électriques.

Ely. 306 924, B F, 8 janvier 1901. — Perfectionnements dans les commutateurs électriques.

Farkas (M.) et Muthel (M.), 121 777, D R P, 24 juin 1900. — Commutateur à haute tension mono- ou polyphasée.

Hauswald (C.). 123 390, D R P, 12 mai 1900. — Commutateur instantané à distance avec contre-poids basculant.

Headley. 307 171, B F, 17 janvier 1901. — Perfectionnements aux commutateurs électriques.

Hewlett (E.-M.). 691 766, USAP, 12 janvier 1900. — Commutateur.

Kingsland. 311 650, 10 juin 1901. — Perfectionnements apportés aux commutateurs électriques à mouvements intermittents.

Kintner (C.-J.). 691 780, USAP, 29 octobre 1900. — Commutateur.

Konstruktionswerke elektrischer Apparate System Bertram. 123 974, D R P, 8 mars 1901. — Commutateur à auges.

Kustermann (J.). 124 256, D R P, 22 mai 1900. — Commutateur électrique.

Langen (F.). 121 713, DRP, 16 novembre 1900. — Mode de connexion pour commutateur à augets.

Lippelt (H.). 117 603, DRP, 1er novembre 1900. — Commutateur instantané.

Maigne. 308 155, B F, 15 février 1901. — Système à disposition automatique avec rupture de sécurité pour tous commutateurs électro-magnétiques en équilibre.

Malignani. (A.). 124 065, D R P, 14 janvier 1900. — Disposition pour la rupture et la fermeture alternant dans une conduite de lumière au moment d'une surcharge.

Mix et Genest. 121 218, DRP, 28 juin 1900. — Socle pour commutateur électrique.

Rausch (W.). 119 015, DRP, 22 mars 1900. — Commutateur à temps actionné par une horloge.

Sautter, Harlé et Cie. 308 145, B F, 14 février 1901. — Nouveau système de commutateur à relais électromagnétique pour la commande à distance des moteurs à courants triphasés.

Siemens et Halske, 117 161, DRP, 7 décembre 1899. — Commutateur électrique avec pare-étincelle magnétique.

Smith. 305 878, B F, 1er décembre 1900. — Perfectionnements aux commutateurs disjoncteurs pour fils électriques aériens.

Spies et Norden. 308 184, B F, 16 février 1901. — Commutateur électrique perfectionné.

Sundh (A). 692 217, USAP, 31 juillet 1901. — Commutateur.

Vilaine (De). 308 106, BF, 13 février 1901. — Commutateur rotatif à balancier moteur, appliqué à l'éclairage électrique intermittent et à changement de couleur.

Voigt et Haeffner Aktiengesell. 310 450, BF, 1er mai 1901. — Système de commutateur électrique.

Wright (G.) et Aalborg (Ch.). 121 852, DRP, 25 juil-

let 1899. — Commutateur pouvant être mis à l'arrêt dans la position de fermeture.

Creesse. 307 383, BF, 5 février 1901. — Perfectionnements dans les dispositifs pour la fermeture et l'ouverture des circuits électriques.

Siemens et Halske. 120 535, DRP, 21 février 1900. — Contact fixe avec pièces d'arrivée de courant disposées concentriquement.

Siemens et Halske. 120 570, DRP, 10 décembre 1899. — Socle avec fusible pour fiche de liaison.

Union Elektricitæts Gesellschaft. 117 798, DRP, 1er mai 1900. — Contact par frottement pour appareils électriques.

Weissmann (G.). 124 068, DRP, 14 décembre 1900. — Fiche de liaison pour l'insertion de corps consommant de l'énergie dans le circuit à basse tension d'un transformateur.

**Conjoncteurs et Disjoncteurs**. — De Kando. 311 392, 1er juin 1901. — Conjoncteur-commutateur hydraulique ou pneumatique et appareil pour son actionnement.

Sinell (E.). 124 457, DRP, 5 août 1900. — Conjoncteur en forme d'anneau pour la mise en court-circuit de plusieurs pièces de contact groupées sur la circonférence de l'anneau.

Stock (F.). 124 161, DRP, 22 avril 1900. — Conjoncteur à grande surface.

Mensing (A.). 123 389, DRP, 18 mars 1900. — Dispositif de fermeture de courant à l'intérieur d'un bâti imperméable à l'air et à l'eau.

Begas (P.) et Cie. 124 736, DRP, 18 décembre 1900. — Conjoncteur et disjoncteur automatique pour tableaux lumineux et analogues.

A. G. Brown Boveri et Co. 121 420, DRP, 15 septembre 1900. — Disjoncteur et inverseur pour courants à haute tension avec fermeture et rupture sous l'huile.

Bruce (D. R.). 121 001, DRP, 19 juillet 1900. — Disjoncteur électrique.

Hopkinson (B.). 124 064, DRP, 12 janvier 1900. — Disjoncteur pour courants alternatifs,

Scott (W. M.). 122 316, DRP, 13 juin 1900. — Disjoncteur automatique à maxima avec pièces de fermeture principale et dérivée.

Thomson Houston (Société française pour l'exploitation des procédés). 308 809, BF, 10 avril 1901, 310 065, BF, 18 avril 1901, 310 385, BF, 30 avril 1901. — Perfectionnements aux disjoncteurs électriques.

Voigt et Haeffner. 122 345, DRP, 3 avril 1900. — Disjoncteur à levier pour établissement à haute tension.

Wright (G.) et Aalborg (Ch.). 121 851, DRP, 15 mars 1899. — Disjoncteur automatique à maxima avec contact principal et contact en dérivation entrant successivement en action.

**Interrupteurs.** — Cauderay (J.). 118 336, DRP, 18 mars 1900. — Interrupteur automatique réglable.

Chabaud et Villard. 310 260, BF, 25 avril 1902. — Interrupteur synchrone pour courant alternatif.

Davidson (J. M.). 118 110, DRP, 31 mai 1900. — Interrupteur électrique.

Hirschmann (W. A.). 121 597, DRP, 7 juin 1900. — Interrupteur tournant.

Hirschmann (W. A.). 123 139, DRP, 13 août 1899. — Interrupteur électrolytique.

Janisch (J. Ch. de). 308 374, BF, 22 février 1901, 119 188, DRP, 12 avril 1900. — Interrupteur pour courants d'une durée déterminée.

Laurent. 306 013, BF, 5 décembre 1900. — Interrupteur électrique à grande distance (appareil double).

Lecarme frères et Michel. 311 064, BF, 22 mai 1901. — Interrupteur turbine pour courant électrique,

Max Levy. 121 446, DRP, 24 mars 1899. — Interrupteur à mercure.

Société anonyme des anciens établissements Luc Court et Cie. 309 364, BF, 26 mars 1901. — Interrupteur de courant électrique à rupture et enclenchement brusque.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 308 586, BF, 28 février 1901. — Perfectionnements aux interrupteurs pour courants alternatifs.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 311 008, BF, 21 mai 1901. — Perfectionnements dans la construction des interrupteurs électriques à haute tension.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 311 175, BF, 25 mai 1901. — Perfectionnements dans la construction d'interrupteurs électriques pour haute tension.

Wehnelt. 120 340, DRP, 3 janvier 1899. — Interrupteur électrique.

E. A. G. anciennement Schuckert et C^ie. 119 269, DRP, 5 novembre 1899. — Pare-étincelle électro-magnétique pour disjoncteur automatique.

Elektrizitæts-Aktiengesellschaft anciennement Schuckert et C^ie. 124 067, DRP, 3 novembre 1900. — Pare-étincelle avec électrodes en forme de bâton.

Electricitæts-Aktien-Gesellschaft anciennement Schuckert et C^ie. 125 017, DRP, 10 janvier 1901. — Dispositif pour éteindre l'étincelle de rupture dans les interrupteurs instantanés.

Siemens et Halske. 118 280, DRP, 8 mai 1900. — Dispositif de connexion pour bobines pare-étincelles.

Compagnie générale d'électricité de Creil, établissements Daydé et Pillé. 309 843, BF, 11 avril 1901. — Souffleur d'étincelles de rupture.

Compagnie générale d'électricité de Creil, établissements Daydé et Pillé. 311 334, BF, 30 mai 1901. — Mode d'extinction de l'étincelle de rupture dans les interrupteurs à rupture brusque.

**Coupe-circuits.** — A. G. Mix et Genest. 118 294, DRP, 20 août 1899. — Dispositif permettant de réduire la longueur de la partie fusible d'un coupe-circuit de sûreté.

Davis (H.-P.). 118 109, DRP, 18 juillet 1899. — Fusible de sûreté.

Compagnie d'électricité de Creil, Etablissements Daydé et Pillé. 306 553, BF, 24 décembre 1900. — Coupe-circuit.

Dreszler (R.). 121 249, DRP, 11 mars 1900. — Socle pour coupe-circuit de distribution.

Electrizitæts. A. G. anciennement Schuckert et C^ie. 121 250, DRP, 19 octobre 1900. — Coupe-circuit à fusible.

Greenstreet (F.-E.) et Selby (E.-J.). 119 189, DRP, 10 juin 1900. — Fusible de sûreté avec supports munis de ressorts pour la disjonction du fil.

Manufacture parisienne d'appareillage électrique. 309 718, BF, 5 avril 1901. — Coupe-circuit pour haute ou moyenne tension.

Pearson. 309 799, BF, 9 avril 1901. — Système de coupe-circuit électrique fusible pour avertisseurs d'incendie et son procédé de fabrication.

Raphael. 311 618, BF, 10 juin 1901. — Procédé pour empêcher l'humidité de pénétrer dans des objets en amiante et pour augmenter leur puissance réfractaire.

Schaufelberger. 311 518, BF, 5 juin 1901. — Coupe-circuit de sûreté.

Siemens et Halske. 121 217, DRP, 27 février 1900. — Coupe-circuit à fusible.

Siemens et Halske. 121 365, DRP, 25 août 1899. — Coupe-circuit à fusible non interchangeable avec contacts concentriques.

Siemens et Halske. 121 809, DRP, 19 avril 1900. — Dispositif de mise hors circuit automatique pour conducteurs à grande intensité de courant.

Société d'appareillage électrique et industriel. 311 048 BF, 21 mai 1901. — Coupe-circuit de sûreté.

Voigt et Hæffner (A.-G.). 124 459, DRP, 22 janvier 1901. — Coupe-circuit à haute tension constitué par plusieurs coupe-circuits à basse tension mis en série.

### *Moteurs.*

Andrieu. 311 131, BF, 24 mai 1901. — Système de moteur électro-magnétique.

Benson et Price. 311 210, BF, 28 mai 1901. — Moteur.

Bergmann-Elektromotoren und Dynamo-Werke, A. G. 123 621, DRP, 28 novembre 1899. — Procédé de fabrication d'un enroulement sur les induits à rainures des moteurs alternatifs.

### *Mesures.*

**Compteurs.** — Compagnie pour la fabrication des Compteurs. 307 637, B F, 30 janvier 1901. — Perfectionnements aux compteurs d'électricité du genre moteur.

Compagnie Thomson-Houston. 309 782, B F, 9 avril 1901. — Compteur électrique ajustable pour des courants alternatifs de différentes fréquences.

Decombe. 310 436, B F, 1er mai 1901. — Nouveau compteur d'énergie électrique.

Del Nero et Camino. 306 845, B F, 4 janvier 1901. — Appareil pour la vérification des compteurs électriques pouvant être utilisés sans connaissances spéciales en électricité.

Deutsch-Russische Elektrizitætszæhler Gesellschaft. 124 741, D R P, 12 décembre 1900. — Compteur d'électricité avec induit moteur tournant. Addition au D R P 111 922.

Elektrizitæts A. G. (ci-devant Schuckert et Cie). 118 411, D R P, 23 mars 1900. — Wattheuremètre à double tarif. Addition au brevet 117 523.

Elektrizitæts A. G. (anciennement Schuckert et Cie). 128 063, D R P, 17 juin 1900. — Compteur d'énergie pour tarif mobile. Addition au D R P 117 523.

Elektrizitæts A. G. (anciennement Schuckert et Cie. 120 874, D R P, 17 août 1900. — Wattheuremètre à double tarif. Addition au brevet 117 523.

Elektrizitæts A. G. (anciennement Schuckert et Cie. 124 742, D R P, 23 février 1901. — Dispositif d'amenée de courant pour induit de compteur-moteur et analogues.

Fritsch-Trautmann (H.). 121 445, D R P, 17 juin 1900. — Disposition pour diminuer la consommation de dérivation dans les compteurs triphasés d'après le principe Ferraris avec 3 aimants en dérivation.

Halsey. 306 264, B F, 14 décembre 1900. — Compteur d'électricité.

Halsey (E.-S.). 124 069, D R P, 28 mai 1899. — Compteur d'électricité avec corps tournant cylindrique plongeant complètement dans le mercure.

Harris (J.). 118 409, D R P, 10 décembre 1899. — Compteur d'électricité avec indication de maximum de courant.

Hartmann et Braun. 123 411, D R P, 6 décembre 1900. — Compteur à courant alternatif d'après le principe de Ferraris.

Heimann (H.). 121 811, D R P, 29 juin 1900. — Indicateur de tarif pour compteur d'électricité à tarif multiple.

Internationale Elektricitæts Zæhler Gesellschaft M. B. H. 311 281, B F, 29 mai 1901. — Système de compteur d'électricité.

Kallmann. 306 234, B F, 13 décembre 1900. — Système d'armature pour les compteurs de moteurs.

Little (Ch.-W.-G.). 122 578, D R P, 2 septembre 1900. — Compteur d'électricité.

Loubery et Baudry. 310 661, B F, 8 mai 1901. — Nouveau système de compteur d'énergie électrique à un ou plusieurs tarifs (système C.-F. Baudry et A. Fonville).

Lux jun. (F.). 123 626, D R P, 4 juillet 1900. — Compteur gradué pour électricité.

Lux (F.). 124 650, D R P, 4 juillet 1900. — Compteur d'électricité avec relais mettant hors circuit les bobines de tension lorsque le circuit de consommation est ouvert.

Luxsche Industriewerke A. G. 124 652, D R P, 4 juillet 1900. — Amenée de courant pour compteur oscillant.

Luxsche Industriewerke A. G. 120 994, D R P, 26 juillet 1899. — Compteur moteur pour courants continu et alternatif.

Mathiesen (W.). 121 810, D R P, 2 juin 1900. — Compteur moteur.

Mathiesen (W.). 124 071, D R P, 7 décembre 1900. — Compteur-moteur. Addition au D R P 121 810.

PELOUX. 307 905, B F, 6 février 1901. — Compteur-moteur pour courants alternatifs.

RIEUGNIER. 310 512, B F, 3 mai 1901. — Compteur d'électricité.

THIERCELIN. 307 850, B F, 5 février 1901. — Système de compteur pendulaire d'énergie électrique.

UNION ELEKTRIZITÆTS G. 118 269, D R P, 21 juillet 1900. — Compteur d'énergie pour courant alternatif. Addition au brevet 115 564.

UNION ELEKTRIZITÆTS GESELLSCHAFT. 118 517, D R P, 7 juil-1900. — Disposition permettant d'éviter l'influence du nombre de période sur la marche d'un compteur à induction.

WENDE (J.). 123 461, D R P, 24 avril 1900. — Commutateur instantané avec débrayage agissant dans les deux directions pour mouvement d'horlogerie de compteur horaire pour lumière électrique.

WIRTH et Cᵒ. 123 713, D R P, 11 avril 1900. — Dispositif pour diminuer l'influence nuisible du frottement des balais sur le collecteur des compteurs moteurs.

**Instruments divers.** — ARGIONI. 311 302, B F, 30 mai 1901. — Perfectionnements dans les appareils à mesurer les courants électriques avec méthode de réduction au zéro.

ARNO (R.). 124 298, D R P. 23 janvier 1900. 124 929, D R P, 24 février 1900. — Procédé pour la mesure exacte de la charge dans une installation triphasée équilibrée avec charges inductives.

BALL. 307 762, B F, 22 janvier 1901. — Perfectionnements apportés à la construction des instruments de mesure électrique.

BEEZ (C.). et ELEKTROTECHNISCHES INSTITUT FRANKFURT A M, 124 740, D R P, 21 octobre 1900. — Instrument de mesure sans induction avec fil chauffant.

BLANDEL. 309 060, B F, 16 mars 1901. — Perfectionnements aux oscillographes.

BLANDEL (A.). 124 739, D R P, 3 août 1900. — Galvanomètre à miroir pour oscillations rapides.

CATENHUSEN (F.-L.). 118 331, D R P, 23 janvier 1900. — Dispositif de frein pour instrument de mesure.

DAVIS (H.-Ph.) et CONRAD (F.). 124 738, D R P, 27 septembre 1898. — Instruments de mesure à courant alternatif indépendants de la fréquence.

DIETZE (G.). 117 605, D R P, 3 avril 1900. — Instrument pour indiquer et mesurer les champs magnétiques périodiques.

DUNCAN (Th.). 123 969, D R P, 14 juin 1900. — Mesureur de tension.

DUNCAN (Th.). 123 976, D R P, 14 juin 1900. — Instruments de mesure à courant alternatif d'après le principe de Ferraris.

ELECTRIZITÆTS A. G. ci-devant SCHUCKERT et Cie. 118 410, D R P, 7 juillet 1900. — Indicateur de perte à la terre.

ELEKTROTECHNISCHES INSTITUT FRANKFURT GESELLSCHAFT. 311 115, B F, 24 mai 1901. — Instrument à dilatation et sans induction pour mesures électriques.

HAENSEL. 307 744, B F, 2 février 1901. — Appareil automatique pour la vente de courant électrique.

HARTMANN et BRAUN. 118 721, D R P, 9 juin 1900. — Transmission des indications des instruments de mesure.

HARTMANN et BRAUN. 124 072, D R P, 27 février 1901. — Procédé de fabrication d'amortisseur pour instruments de mesure et analogues.

HARTMANN et BRAUN. 123 625, D R P, 1er avril 1900. — Instruments de mesures électriques.

HELBERGER (H.). 124 460, D R P, 23 janvier 1901. — Ampèremètre enregistreur.

HENSER (O.). 124 073, D R P, 12 mars 1901. — Dispositif de mesure d'intensité.

KEISER et SCHMIDT. 124 187, D R P, 4 octobre 1900. — Dispositif de commutation pour instruments de mesure à plusieurs sensibilités.

LUX (F.). 120 205, D R P, 10 novembre 1900. — Instrument de mesure pour très hautes consommations.

LUX (F.). 121 139, D R P, 17 juin 1900. — Indicateur de maximum de courant.

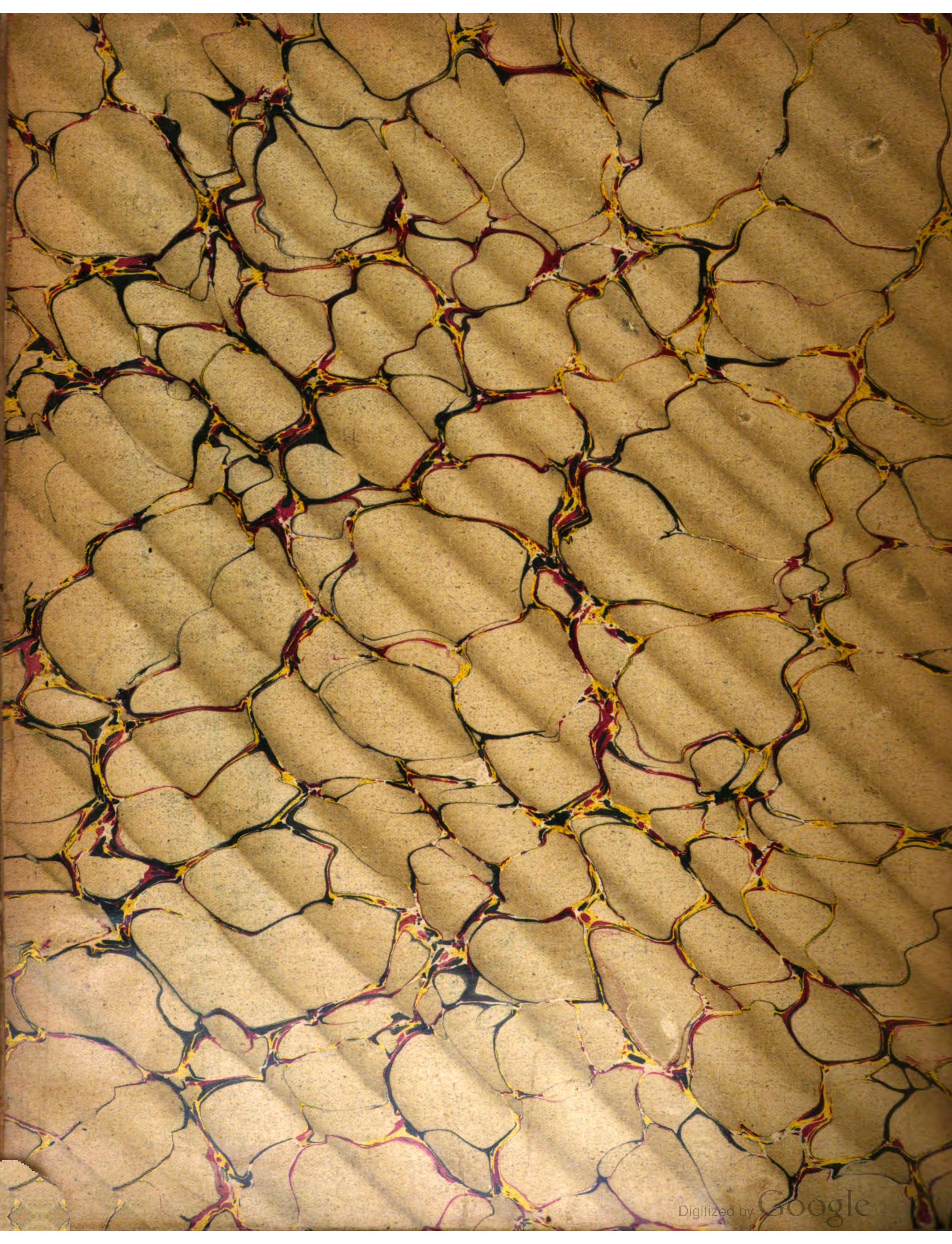
MEYER PAUL A.-GESELL. 308 877, B F, 11 mars 1901. — Instrument de mesure électrique à fil dilatable.

MUTUAL ELECTRIC TRUST. 123 392, D R P, 27 mai 1900. — Voltamètre à mercure avec échelle pour la lecture de grandes unités.

MUTUAL ELECTRIC TRUST. 123 409, D R P, 27 mai 1900; 123 410, D R P, 19 juin 1900. — Voltamètre à mercure.

OLIVETTI (C.). 122 346, D R P, 26 septembre 1900. — Instrument de mesure électrique.

PFAUHAUSER (W.). 120 843, D R P, 26 janvier 1900. — Balance voltamétrique pour déterminer la quantité de métal précipité dans un bain électrolytique.




UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 0177

